

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年12月27日
Date of Application:

出願番号 特願2002-382129
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2002-382129]

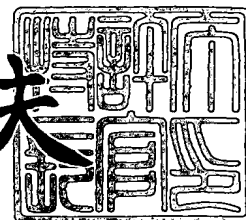
出願人 株式会社荏原製作所
Applicant(s):

BEST AVAILABLE COPY

2003年 9月29日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3079894

【書類名】 特許願

【整理番号】 EB2995P

【提出日】 平成14年12月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B23H 03/04

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 鍋谷 治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 安田 穂積

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 小畠 巖貴

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 糸川 正行

【特許出願人】

【識別番号】 000000239

【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所

【代表者】 依田 正稔

【代理人】

【識別番号】 100091498

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 勇

【選任した代理人】

【識別番号】 100092406

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀田 信太郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100093942

【弁理士】

【氏名又は名称】 小杉 良二

【選任した代理人】

【識別番号】 100109896

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 友宏

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002- 84120

【出願日】 平成14年 3月25日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 026996

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9112447

【包括委任状番号】 0018636

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電解加工装置、電解加工方法、及び基板処理装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電極と前記電極の表面を覆うイオン交換体とを有する複数の電極部材を並列に配置した電極部と、前記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触又は近接自在に保持する保持部と、前記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、

前記電極部材のイオン交換体は、表面平滑性に優れたイオン交換体と、イオン交換容量の大きいイオン交換体とを有することを特徴とする電解加工装置。

【請求項 2】 電極と前記電極の表面を覆うイオン交換体とを有する複数の電極部材を並列に配置した電極部と、前記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触又は近接自在に保持する保持部と、前記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、

前記電極部の電極部材の両側には、前記被加工物と前記電極部材のイオン交換体との間に流体を供給する流体噴射ノズルを配置したことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 3】 前記流体噴射ノズルは、前記電極部材に対向する被加工物の被加工面に向けて前記流体を噴射する噴射口を有することを特徴とする請求項 2 に記載の電解加工装置。

【請求項 4】 前記流体噴射ノズルの高さは前記電極部材のイオン交換体の高さよりも低いことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の電解加工装置。

【請求項 5】 前記電極部の各電極部材の電極の内部には、前記イオン交換体に流体を供給する貫通孔を形成したことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 6】 電極と前記電極の表面を覆うイオン交換体とを有する電極部材を備えた電解加工装置であって、

前記電極部材には、前記被加工物を前記電極部材のイオン交換体に接触させたときに、所定の押し付け量以上の状態において前記イオン交換体の加工に用いられる部分と前記被加工物との実質的な接触幅を一定に制限する接触幅制限部を設

けたことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 7】 前記接触幅制限部は、前記イオン交換体の表面又は裏面に貼付された絶縁フィルムにより構成されることを特徴とする請求項 6 に記載の電解加工装置。

【請求項 8】 前記接触幅制限部は、イオン交換能力を有しない部材により構成されることを特徴とする請求項 6 に記載の電解加工装置。

【請求項 9】 前記イオン交換能力を有しない部材は、前記イオン交換体と一体に形成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の電解加工装置。

【請求項 1 0】 前記接触幅制限部は、前記イオン交換体に設けられた凸部により構成されることを特徴とする請求項 6 に記載の電解加工装置。

【請求項 1 1】 前記電極部材が複数並列に配置されることを特徴とする請求項 6 乃至 1 0 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 1 2】 隣り合う前記電極部材の電極を陰極と陽極とに交互に接続したことを特徴とする請求項 1 乃至 5 及び 1 1 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 1 3】 給電電極と加工電極を交互に並列に配置した電極部と、前記電極部の給電電極及び加工電極に被加工物を接触又は近接自在に保持する保持部と、前記電極部の各給電電極及び加工電極に接続される電源とを備え、

前記電極部と被加工物との間に相対運動を生じさせる駆動機構を備え、

前記給電電極及び前記加工電極の内部に、該給電電極及び加工電極の表面に流体を供給する貫通孔をそれぞれ形成したことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 1 4】 前記給電電極と前記加工電極の間に、前記被加工物と前記給電電極及び前記加工電極との間に流体を供給する流体供給ノズルを配置したことを特徴とする請求項 1 3 に記載の電解加工装置。

【請求項 1 5】 基板を搬出入する基板搬出入部と、
請求項 1 乃至 1 4 のいずれか一項に記載の電解加工装置と、
前記基板搬出入部と前記電解加工装置との間で基板を搬送する搬送装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置。

【請求項 1 6】 被加工物の表面を電解加工する方法において、

電極の表面にイオン交換体を配置した前記被加工物よりも幅の狭い加工電極に前記被加工物を接触させ、

前記イオン交換体の加工に用いられる部分と前記被加工物との実質的な接触幅を一定に維持したまま、前記加工電極と前記被加工物とを相対運動させて該被加工物の表面を加工することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 17】 少なくとも前記加工電極の表面に露出している前記イオン交換体の全幅を前記被加工物に実質的に接触させることを特徴とする請求項 16 に記載の電解加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電解加工装置及び電解加工方法に係り、特に半導体ウェハ等の基板の表面に形成された導電性材料を加工したり、基板の表面に付着した不純物を除去したりするために使用される電解加工装置及び電解加工方法に関するものである。また、本発明は、上記電解加工装置を備えた基板処理装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体ウェハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウム又はアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅（Cu）を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法（CVD：Chemical Vapor Deposition）、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）により不要の銅を除去するようにしている。

【0003】

図 1（a）乃至図 1（c）は、この種の銅配線基板 W の一製造例を工程順に示すものである。図 1（a）に示すように、半導体素子が形成された半導体基材 1

上の導電層 1a の上に SiO_2 からなる酸化膜や Low-k 材膜などの絶縁膜 2 が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール 3 と配線用の溝 4 が形成されている。これらの上に TaN 等からなるバリア膜 5、更にその上に電解めっきの給電層としてスパッタリングや CVD 等によりシード層 7 が形成されている。

【0004】

そして、基板 W の表面に銅めっきを施すことで、図 1 (b) に示すように、半導体基材 1 のコンタクトホール 3 及び溝 4 内に銅を充填するとともに、絶縁膜 2 上に銅膜 6 を堆積する。その後、化学機械的研磨 (CMP) により、絶縁膜 2 上の銅膜 6 及びシード層 7 を除去して、コンタクトホール 3 及び配線用の溝 4 に充填させた銅膜 6 の表面と絶縁膜 2 の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図 1 (c) に示すように銅膜 6 からなる配線が形成される。

【0005】

また、最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまうため、被加工物の特性が劣化してしまう。従って、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

【0006】

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工方法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。従って、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

【0007】

近年、半導体基板上に強誘電体を用いたキャパシタを形成する際の電極材料として、白金属の金属乃至その酸化物が候補として上がっている。中でもルテニウ

ムは成膜性が良好であることから、実現性の高い材料として検討が進んでいる。

【0008】

ここで、回路形成部以外の基板の周縁部及び裏面に成膜乃至付着したルテニウムは不要であるばかりでなく、その後の基板の搬送、保管及び各種処理工程において、クロスコンタミネーションの原因となり、例えば、誘電体の性能を低下させることも起こり得る。従って、ルテニウム膜の成膜工程やルテニウム膜に対して何らかの処理を行った後で、これらを完全に除去しておく必要がある。更に、例えば、キャパシタの電極材料としてルテニウムを使用した場合には、回路形成部に成膜したルテニウム膜の一部を除去する工程が必要となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

例えば、CMP工程は、一般にかなり複雑な操作が必要で、制御も複雑となり、加工時間もかなり長い。更に、研磨後の基板の後洗浄を十分に行う必要があるばかりでなく、スラリーや洗浄液の廃液処理のための負荷が大きい等の課題がある。このため、CMP自体を省略する、あるいはこの負荷を軽減することが強く求められている。また、今後、絶縁膜も誘電率の小さいLow-k材に変わると予想され、このLow-k材は強度が弱くCMPによるストレスに耐えられなくなる。従って、基板にストレスを与えることなく、平坦化できるようにしたプロセスが望まれている。

【0010】

なお、化学機械的電解研磨のように、めっきをしながらCMPで削るというプロセスも発表されているが、めっき成長面に機械加工が付加されることで、めっきの異常成長を促すことにもなり、膜質に問題を起こしている。

【0011】

また、上述した電解加工や電解研磨では、被加工物と電解液（NaCl, NaNO₃, HF, HCl, HNO₃, NaOH等の水溶液）との電気化学的相互作用によって加工が進行するとされている。従って、このような電解質を含む電解液を使用する限り、その電解液で被加工物が汚染されることは避けられない。

【0012】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、例えばCMP処理そのものを省略したり、CMP処理の負荷を極力低減しつつ、基板表面に設けられた導電性材料を平坦に加工したり、更には基板等の被加工物の表面に付着した付着物を除去（洗浄）できるようにした電解加工装置及び該電解加工装置を組み込んだ基板処理装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

このような従来技術における問題点を解決するために、本発明の第1の態様は、電極と上記電極の表面を覆うイオン交換体とを有する複数の電極部材を並列に配置した電極部と、上記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触又は近接自在に保持する保持部と、上記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、上記電極部材のイオン交換体は、表面平滑性に優れたイオン交換体と、イオン交換容量の大きいイオン交換体とを有することを特徴とする電解加工装置である。

【0014】

図2は、本発明の加工原理を示すものである。図2は、被加工物10の表面に、加工電極14に取り付けたイオン交換体12aと、給電電極16に取り付けたイオン交換体12bとを接触又は近接させ、加工電極14と給電電極16との間に電源17を介して電圧を印加しつつ、加工電極14及び給電電極16と被加工物10との間に液体供給部19から超純水等の液体18を供給した状態を示している。

【0015】

超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体12aを被加工物10の表面に「接触させる」ことが好ましく、このようにイオン交換体12aを被加工物10の表面に接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。従って、本発明に係る加工における「接触」は、例えばCMPのように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ものではない。

【0016】

これにより、超純水等の液体 18 中の水分子 20 をイオン交換体 12 a, 12 b で水酸化物イオン 22 と水素イオン 24 に解離し、例えば生成された水酸化物イオン 22 を、被加工物 10 と加工電極 14 との間の電界と超純水等の液体 18 の流れによって、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する表面に供給して、ここでの被加工物 10 近傍の水酸化物イオン 22 の密度を高め、被加工物 10 の原子 10 a と水酸化物イオン 22 を反応させる。反応によって生成された反応物質 26 は、超純水 18 中に溶解し、被加工物 10 の表面に沿った超純水等の液体 18 の流れによって被加工物 10 から除去される。これにより、被加工物 10 の表面層の除去加工が行われる。

【0017】

このように、本加工法は純粋に被加工物との電気化学的相互作用のみにより被加工物の除去加工を行うものであり、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。この方法では、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する部位が加工されるので、加工電極 14 を移動させることで、被加工物 10 の表面を所望の表面形状に加工することができる。

【0018】

なお、本発明に係る電解加工装置は、電気化学的相互作用による溶解反応のみにより被加工物の除去加工を行うため、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。従って、材料の特性を損なわずに除去加工を行うことが可能であり、例えば前述の Low-k 材に挙げられる機械的強度の小さい材料に対しても、物理的な相互作用を及ぼすことなく除去加工が可能である。また、通常の電解加工装置と比較しても、電解液に $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体、好ましくは純水、更に好ましくは超純水を用いるため、被加工物表面への汚染も大幅に低減させることが可能であり、また加工後の廃液の処理も容易となる。

【0019】

また、上述したように、表面平滑性に優れたイオン交換体とイオン交換容量の大きいイオン交換体とを組み合わせることにより、イオン交換容量が少ないとい

う表面平滑性に優れたイオン交換体の短所をイオン交換容量の大きいイオン交換体により補うことができる。

【0020】

本発明の第2の態様は、電極と上記電極の表面を覆うイオン交換体とを有する複数の電極部材を並列に配置した電極部と、上記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触又は近接自在に保持する保持部と、上記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、上記電極部の電極部材の両側には、上記被加工物と上記電極部材のイオン交換体との間に流体を供給する流体噴射ノズルを配置したことを特徴とする電解加工装置である。このような構成により、純水又は超純水などの流体を被加工物と電極部材のイオン交換体との間に噴射することができる。

【0021】

本発明の好ましい一態様は、上記流体噴射ノズルは、上記電極部材に対向する被加工物の被加工面に向けて上記流体を噴射する噴射口を有することを特徴としている。このような構成により、電極部材に対向する被加工物の被加工面、すなわち被加工物とイオン交換体との接触部分に向けて純水又は超純水などの流体を噴射することができ、流体を被加工面全域に供給することができる。

【0022】

本発明の好ましい一態様は、上記流体噴射ノズルの高さは上記電極部材のイオン交換体の高さよりも低いことを特徴としている。このような構成により、被加工物を電極部材のイオン交換体に接触させた際にも、流体噴射ノズルが被加工物に接触しないようにすることができる。

【0023】

本発明の好ましい一態様は、上記電極部の各電極部材の電極の内部には、上記イオン交換体に流体を供給する貫通孔を形成したことを特徴としている。

【0024】

本発明の第3の態様は、電極と上記電極の表面を覆うイオン交換体とを有する電極部材を備えた電解加工装置であって、上記電極部材には、上記被加工物を上記電極部材のイオン交換体に接触させたときに、所定の押し付け量以上の状態において上記イオン交換体の加工に用いられる部分と上記被加工物との実質的な接

触幅を一定に制限する接触幅制限部を設けたことを特徴とする電解加工装置である。

【0025】

このような構成により、被加工物の被加工面とイオン交換体との実質的な接触幅を一定に維持することができ、均一な加工を実現することができる。ここで、押し付け量とは、イオン交換体と被加工物とが接触した状態からの被加工物の押し付け距離をいい、接触幅とは、イオン交換体と被加工物とが接触している部分について、電極部材の長手方向と垂直な方向の幅をいう。また、実質的な接触幅が一定であるとは、被加工物の表面の微細の凹凸による接触幅の変化を含まず、被加工物と加工電極との相対運動に伴うこれらの間の距離の変化や装置の振動などに起因して接触幅が変化しないことを意味する。

【0026】

本発明の好ましい一態様は、上記接触幅制限部は、上記イオン交換体の表面又は裏面に貼付された絶縁フィルムにより構成されることを特徴としている。このような構成により、イオン交換体の表面又は裏面に貼付された絶縁フィルムによって、被加工物の押し付け量が変わっても、被加工物の被加工面とイオン交換体との接触幅を一定に維持することができ、均一な加工を実現することができる。

【0027】

本発明の好ましい一態様は、上記接触幅制限部は、イオン交換能力を有しない部材により構成されることを特徴としている。このような構成により、イオン交換能力を有しない部材によって、被加工物の押し付け量が変わっても、加工が進行する部分の幅を一定に維持することができ、均一な加工を実現することができる。この場合において、上記イオン交換能力を有しない部材を、上記イオン交換体と一体に形成することが好ましい。上述した絶縁フィルムを用いて接触幅制限部を構成した場合には、絶縁フィルムの厚みが上記接触幅に多少の影響を与えることが考えられるが、イオン交換能力を有する部分とイオン交換能力を有しない部分とを一体に形成したイオン交換体を接触幅制限部として用いた場合には、このような影響をなくすることができる。

【0028】

本発明の好ましい一態様は、上記接触幅制限部は、上記イオン交換体に設けられた凸部により構成されることを特徴としている。このような構成により、イオン交換体に設けられた凸部によって、被加工物の押し付け量に変化しても、被加工物の被加工面とイオン交換体との接触幅を一定に維持することができ、均一な加工を実現することができる。

【 0 0 2 9 】

本発明の好ましい一態様は、上記電極部材が複数並列に配置されることを特徴としている。

【 0 0 3 0 】

本発明の好ましい一態様は、隣り合う上記電極部材の電極を陰極と陽極とに交互に接続したことを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

本発明の第 4 の態様は、給電電極と加工電極を交互に並列に配置した電極部と、上記電極部の給電電極及び加工電極に被加工物を接触又は近接自在に保持する保持部と、上記電極部の各給電電極及び加工電極に接続される電源とを備え、上記電極部と被加工物との間に相對運動を生じさせる駆動機構を備え、上記給電電極及び上記加工電極の内部に、該給電電極及び加工電極の表面に流体を供給する貫通孔をそれぞれ形成したことを特徴とする電解加工装置である。

【 0 0 3 2 】

このような構成により、給電電極と加工電極とをそれぞれ同じ形状で等間隔に配置することで、給電電極と加工電極の比率を等しくして、より確実に被加工物に対して給電することができる。ここで、被加工物と加工電極及び給電電極との間の抵抗が、互いに隣り合う加工電極と給電電極との間の抵抗よりも小さくなるように距離を設定することで、被加工物と加工電極及び給電電極との間でイオンを移動させることができる。

【 0 0 3 3 】

本発明の好ましい一態様は、上記給電電極と上記加工電極の間に、上記被加工物と上記給電電極及び上記加工電極との間に流体を供給する流体供給ノズルを配置したことを特徴としている。このような構成により、被加工物と加工電極及び

給電電極間に液体を満たすことができる。この場合、液体として、純水や超純水、電解液が用いられる。

【0034】

本発明の第5の態様は、基板を搬出入する基板搬出入部と、上記電解加工装置と、上記基板搬出入部と上記電解加工装置との間で基板を搬送する搬送装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置である。

【0035】

本発明の第6の態様は、被加工物の表面を電解加工する方法において、電極の表面にイオン交換体を配置した上記被加工物よりも幅の狭い加工電極に上記被加工物を接触させ、上記イオン交換体の加工に用いられる部分と上記被加工物との実質的な接触幅を一定に維持したまま、上記加工電極と上記被加工物とを相対運動させて該被加工物の表面を加工することを特徴とする電解加工方法である。

【0036】

本発明の好ましい一態様は、少なくとも上記加工電極の表面に露出している上記イオン交換体の全幅を上記被加工物に実質的に接触させることを特徴としている。

【0037】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る基板処理装置の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の説明では、被加工物として基板を使用し、電解加工装置で基板を加工するようにした例を示しているが、本発明を基板以外にも適用できることは言うまでもない。

【0038】

図3は、本発明の第1の実施形態における基板処理装置の構成を示す平面図である。図3に示すように、この基板処理装置は、例えば、図1(b)に示すように、表面に導電体膜（被加工物）としての銅膜6を有する基板Wを収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一対のロード・アンロード部30と、基板Wを反転させる反転機32と、電解加工装置34とを備えている。これらの機器は直列に配置されており、これらの機器の間で基板Wを搬送して授受する搬送装置

としての搬送ロボット 36 がこれらの機器と平行に配置されている。また、電解加工装置 34 による電解加工の際に、後述する加工電極と給電電極との間に印加する電圧又はこれらの間を流れる電流をモニタするモニタ部 38 がロード・アンロード部 30 に隣接して配置されている。

【0039】

図 4 は基板処理装置内の電解加工装置 34 を示す平面図、図 5 は図 4 の縦断面図である。図 4 及び図 5 に示すように、電解加工装置 34 は、上下動可能かつ水平面に沿って往復動可能なアーム 40 と、アーム 40 の自由端に垂設されて基板 W を下向き（フェイスダウン）に吸着保持する基板保持部 42 と、アーム 40 が取り付けられる可動フレーム 44 と、矩形状の電極部 46 と、電極部 46 に接続される電源 48 とを備えている。本実施形態では、電極部 46 の大きさは基板保持部 42 で保持する基板 W の外径よりも一回り大きな大きさに設定されている。

【0040】

図 4 及び図 5 に示すように、可動フレーム 44 の上部には上下動用モータ 50 が設置されており、この上下動用モータ 50 には上下方向に延びるボールねじ 52 が連結されている。ボールねじ 52 にはアーム 40 の基部 40a が取り付けられており、上下動用モータ 50 の駆動に伴ってアーム 40 がボールねじ 52 を介して上下動するようになっている。また、可動フレーム 44 自体も、水平方向に延びるボールねじ 54 に取り付けられており、往復動用モータ 56 の駆動に伴って可動フレーム 44 及びアーム 40 が水平面に沿って往復動するようになっている。

【0041】

基板保持部 42 は、アーム 40 の自由端に設置された自転用モータ 58 に接続されており、この自転用モータ 58 の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム 40 は上下動及び水平方向に往復動可能となっており、基板保持部 42 はアーム 40 と一体となって上下動及び水平方向に往復動可能となっている。

【0042】

電極部 46 の下方には中空モータ 60 が設置されており、この中空モータ 60

の主軸 62 には、この主軸 62 の中心から偏心した位置に駆動端 64 が設けられている。電極部 46 は、その中央において上記駆動端 64 に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、電極部 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上の自転防止機構が設けられている。

【0043】

図 6 (a) は本実施形態における自転防止機構を示す平面図、図 6 (b) は図 6 (a) の A-A 線断面図である。図 6 (a) 及び図 6 (b) に示すように、電極部 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上（図 6 (a) においては 4 つ）の自転防止機構 66 が設けられている。図 6 (b) に示すように、中空モータ 60 の上面と電極部 46 の下面の対応する位置には、周方向に等間隔に複数の凹所 68, 70 が形成されており、これらの凹所 68, 70 にはそれぞれ軸受 72, 74 が装着されている。軸受 72, 74 には、距離 e だけずれた 2 つの軸体 76, 78 の一端部がそれぞれ挿入されており、軸体 76, 78 の他端部は連結部材 80 により互いに連結される。ここで、中空モータ 60 の主軸 62 の中心に対する駆動端 64 の偏心量も上述した距離 e と同じになっている。従って、電極部 46 は、中空モータ 60 の駆動に伴って、主軸 62 の中心と駆動端 64 との間の距離 e を半径とした、自転を行わない公転運動、いわゆるスクロール運動（並進回転運動）を行うようになっている。

【0044】

次に、本実施形態における電極部 46 について説明する。本実施形態における電極部 46 は複数の電極部材 82 を備えている。図 7 は本実施形態における電極部 46 を示す平面図、図 8 は図 7 の B-B 線断面図、図 9 は図 8 の部分拡大図である。図 7 及び図 8 に示すように、電極部 46 は、X 方向（図 4 及び図 7 参照）に延びる複数の電極部材 82 を備えており、これらの電極部材 82 は平板状のベース 84 上に並列に配置されている。

【0045】

図 9 に示すように、各電極部材 82 は、電源 48（図 4 及び図 5 参照）に接続される電極 86 と、電極 86 の上部に積層されたイオン交換体 88 と、電極 86 及びイオン交換体 88 の表面を一体的に覆うイオン交換体（イオン交換膜）90

とを備えている。イオン交換体 9 0 は、電極 8 6 の両側に配置された保持プレート 8 5 により電極 8 6 に取り付けられている。

【 0 0 4 6 】

ここで、イオン交換体 8 8 , 9 0 には、以下の 4 点が求められる。

①加工生成物（ガス含む）の除去

これは、加工レートの安定性、加工レート分布の均一性に影響するためである。このため、「通水性」及び「吸水性」のあるイオン交換体を用いることが好ましい。ここで「通水性」とは、マクロな透過性を意味する。すなわち、素材自体に通水性がなくても、該部材に穴及び溝を切ることによって水が通過できるようになり、通水性を持たせることができる。一方、「吸水性」とは、素材に水がしみ込む性質を意味する。

【 0 0 4 7 】

②加工レートの安定性

加工レートの安定性を図るためには、イオン交換材料を多数枚重ねて、イオン交換能力を確保することが好ましいと考えられる。

③被加工面の平坦性（段差解消能力）

被加工面の平坦性を確保するためには、イオン交換体の加工面の表面平滑性が良好であることが好ましいと考えられている。更に、硬い部材ほど加工表面の平坦性（段差解消能力）が高いのではないかと考えられている。

④長寿命

機械的寿命に関しては、耐磨耗性の高いイオン交換材料が好ましいと考えられている。

【 0 0 4 8 】

ここで、イオン交換体 8 8 としては、イオン交換容量の高いイオン交換体を用いることが好ましい。本実施形態では、厚さが 1 mm の C 膜（不織布イオン交換体）を 3 枚重ねた多層構造としており、イオン交換体 8 8 の持つトータルのイオン交換容量を増加させている。このようにすることで、電解反応により発生した加工生成物（酸化物やイオン）をイオン交換体 8 8 内にこの蓄積容量以上に蓄積させないようにして、イオン交換体 8 8 内に蓄積された加工生成物の形態が変化

して、それが加工速度及びその分布に影響を与えることを防止することができる。また、目標とする被加工物の加工量を十分補えるだけのイオン交換容量を確保することができる。なお、イオン交換体 8 8 のイオン交換容量が高ければ 1 枚としてもよい。

【 0 0 4 9 】

また、少なくとも被加工物と対面するイオン交換体 9 0 は、硬度が高く、しかも良好な表面平滑性を有することが好ましい。本実施形態では、厚さ 0. 2 mm のナフィオン（デュポン社の商標）を使用している。ここで、「硬度が高い」とは、剛性が高く、かつ圧縮弾性率が低いことを意味する。硬度が高い材質を用いることにより、パターンウェハ等の、被加工物表面の微細な凹凸に加工部材が倣いにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすい。また、「表面平滑性を有する」とは、表面の凹凸が小さいことを意味する。すなわち、イオン交換体が、被加工物であるパターンウェハ等の凹部に接触しにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすくなる。このように、表面平滑性を有するイオン交換体 9 0 とイオン交換容量の大きなイオン交換体 8 8 とを組み合わせることにより、イオン交換容量が少ないというイオン交換体 9 0 の短所をイオン交換体 8 8 により補うことができる。

【 0 0 5 0 】

また、イオン交換体 9 0 としては通水性に優れたものを使用することがより好ましい。純水又は超純水がイオン交換体 9 0 を通過するように流すことで、水の解離反応を促進させる官能基（強酸性陽イオン交換材料ではスルホン酸基）に十分な水を供給して水分子の解離量を増加させ、水酸化物イオン（もしくは OH ラジカル）との反応により発生した加工生成物（ガスも含む）を水の流れにより除去して、加工効率を高めることができる。従って、純水又は超純水の流れが必要となり、純水又は超純水の流れとしては、一様かつ均一であることが好ましい。このように、一様かつ均一な流れとすることで、イオンの供給及び加工生成物の除去の一様性及び均一性、ひいては加工効率の一様性及び均一性を図ることができる。

【 0 0 5 1 】

このようなイオン交換体 88, 90 は、例えば、アニオン交換能又はカチオン交換能を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、好ましくは強酸性カチオン交換基（スルホン酸基）を担持したものであるが、弱酸性カチオン交換基（カルボキシル基）を担持したものでよい。また、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（4 級アンモニウム基）を担持したものであるが、弱塩基性アニオン交換基（3 級以下のアミノ基）を担持したものでよい。

【0052】

ここで、例えば強塩基性アニオン交換能を付与した不織布は、繊維径 20～50 μm で空隙率が約 90 % のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖をアミノ化して 4 級アンモニウム基を導入して作製される。導入されるイオン交換基の容量は、導入するグラフト鎖の量により決定される。グラフト重合を行うためには、例えばアクリル酸、スチレン、メタクリル酸グリシジル、更にはスチレンスルホン酸ナトリウム、クロロメチルスチレン等のモノマーを用い、これらのモノマー濃度、反応温度及び反応時間を制御することで、重合するグラフト量を制御することができる。従って、グラフト重合前の素材の重量に対し、グラフト重合後の重量の比をグラフト率と呼ぶが、このグラフト率は、最大で 500 % が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で 5 meq / g が可能である。

【0053】

強酸性カチオン交換能を付与した不織布は、前記強塩基性アニオン交換能を付与する方法と同様に、繊維径 20～50 μm で空隙率が約 90 % のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖を、例えば加熱した硫酸で処理してスルホン酸基を導入して作製される。また、加熱したリン酸で処理すればリン酸基が導入できる。ここでグラフト率は、最大で 500 % が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で 5 meq / g が可能である。

【0054】

イオン交換体 88, 90 の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、又はその他有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。

【0055】

ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線 (γ 線と電子線) を先に素材に照射する (前照射) ことで、素材にラジカルを発生させ、次にモノマーと反応させてグラフト重合することができる。これにより、均一性が高く、不純物が少ないグラフト鎖ができる。一方、その他の有機高分子は、モノマーを含浸させ、そこに放射線 (γ 線、電子線、紫外線) を照射 (同時照射) することで、ラジカル重合することができる。この場合、均一性に欠けるが、ほとんどの素材に適用できる。

【0056】

このように、イオン交換体 88, 90 をアニオン交換能又はカチオン交換能を付与した不織布で構成することで、純水又は超純水や電解液等の液体が不織布の内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能となって、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに解離される。更に、解離によって生成した水酸化物イオンが純水又は超純水や電解液等の液体の移動に伴って効率良く加工電極の表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

【0057】

ここで、イオン交換体 88, 90 をアニオン交換能又はカチオン交換能の一方を付与したもののみで構成すると、電解加工できる被加工材料が制限されるばかりでなく、極性により不純物が生成しやすくなる。そこで、アニオン交換能を有するアニオン交換体とカチオン交換能を有するカチオン交換体とを重ね合わせたり、イオン交換体 88, 90 自体にアニオン交換能とカチオン交換能の双方の交換基を付与するようになしたりしてもよく、これにより、被加工材料の範囲を拡張するとともに、不純物を生成しにくくすることができる。

【0058】

本実施形態では、隣り合う電極部材 82 の電極 86 に、電源 48 の陰極と陽極とが交互に接続されている。例えば、電極 86 a (図 8 参照) を電源 48 の陰極に接続し、電極 86 b (図 8 参照) を陽極に接続する。例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、陰極に接続した電極 86 a が加工電極となり、陽極に接続した電極 86 b が給電電極となる。このように、本実施形態では、加工電極と給電電極とが並列に交互に配置される。

【0059】

加工材料によっては、電源 48 の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源 48 の陰極に接続した電極 86 a が加工電極となり、陽極に接続した電極板 86 b が給電電極となる。一方、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源 48 の陽極に接続した電極 86 b が加工電極となり、陰極に接続した電極 86 a が給電電極となる。

【0060】

また、被加工物が錫酸化物やインジウム錫酸化物 (ITO) などの導電性酸化物の場合には、被加工物を還元した後に、電解加工を行う。すなわち、図 5 において、電源 48 の陽極に接続した電極が還元電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となって、導電性酸化物の還元を行う。続いて、先程給電電極であった電極を加工電極として、還元された導電性酸化物の加工を行う。あるいは、導電性酸化物の還元時の極性を反転させることによって還元電極を加工電極にしてもよい。又、被加工物を陰極にして、陽極電極を対向させることによって導電性酸化物の除去加工ができる。

【0061】

なお、上記の例では、基板の表面に形成した導電体膜としての銅膜 6 を電解加工するようにした例を示しているが、基板の表面に成膜乃至付着した不要なルテニウム (Ru) 膜も同様にして、すなわちルテニウム膜を陽極となし、陰極に接続した電極を加工電極として、電解加工 (エッチング除去) することができる。

【0062】

このように、加工電極と給電電極とを電極部 46 の Y 方向（電極部材 82 の長手方向と垂直な方向）に交互に設けることで、基板 W の導電体膜（被加工物）に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板の全面の加工が可能となる。また、電極 86 間に印加される電圧の正負をパルス状に変化させることで、電解生成物を溶解させ、加工の繰返しの多重性によって平坦度を向上させることができる。

【0063】

ここで、電極部材 82 の電極 86 は、電解反応により、酸化又は溶出が一般に問題となる。このため、電極の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物又は導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金又はイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止することができる。

【0064】

図 8 に示すように、電極部 46 のベース 84 の内部には、被加工面に純水、より好ましくは超純水を供給するための流路 92 が形成されており、この流路 92 は純水供給管 94 を介して純水供給源（図示せず）に接続されている。各電極部材 82 の両側には、流路 92 から供給される純水又は超純水を基板 W と電極部材 82 のイオン交換体 90 との間に噴射するための純水噴射ノズル 96 が設置されている。この純水噴射ノズル 96 には、電極部材 82 に対向する基板 W の被加工面、すなわち基板 W とイオン交換体 90 との接触部分に向けて純水又は超純水を噴射する噴射口 98 が X 方向に沿って複数箇所（図 7 参照）に設けられている。

この純水噴射ノズル 96 の噴射口 98 から流路 92 内の純水又は超純水が基板 W の被加工面全域に供給される。ここで、図 9 に示すように、純水噴射ノズル 96 の高さは、電極部材 82 のイオン交換体 90 の高さよりも低くなっており、基板 W を電極部材 82 のイオン交換体 90 に接触させた際にも、純水噴射ノズル 90 が基板 W に接触しないようになっている。

【0065】

また、各電極部材 82 の電極 86 の内部には、流路 92 からイオン交換体 88 に通じる貫通孔 100 が形成されている。このような構成により、流路 92 内の純水又は超純水は、貫通孔 100 を通ってイオン交換体 88 に供給される。ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水又は超純水を使用して電解加工を行うことで、基板 W の表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換体 88, 90 にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板 W の他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板 W の表面を汚染したりすることがない。

【0066】

また、純水又は超純水の代わりに電気伝導度 $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水又は超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、 NaCl や Na_2SO_4 等の中性塩、 HCl や H_2SO_4 等の酸、更には、アンモニア等のアルカリなどの溶液を使用することができ、被加工物の特性によって適宜選択して使用することができる。

【0067】

更に、純水又は超純水の代わりに、純水又は超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\ \text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。このように、純水又は超純水に界面活性剤を添加することで、基板 W とイオン交換体 88, 90 の界面にイオンの移動を防ぐ一様な抑制作用

を有する層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して被加工面の平坦性を向上させることができる。ここで、界面活性剤濃度は、100ppm以下が好ましい。なお、電気伝導度の値があまり高いと電流効率が下がり、加工速度が遅くなるが、500 μ S/cm以下、好ましくは、50 μ S/cm以下、更に好ましくは、0.1 μ S/cm以下の電気伝導度を有する液体を使用することで、所望の加工速度を得ることができる。

【0068】

次に、本実施形態における基板処理装置を用いた基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば、図1（b）に示すように、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜6を形成した基板Wを収納したカセットをロード・アンロード部30にセットし、このカセットから1枚の基板Wを搬送ロボット36で取り出す。搬送ロボット36は、取り出した基板Wを必要に応じて反転機32に搬送し、基板Wの導電体膜（銅膜6）を形成した表面が下を向くように反転させる。

【0069】

搬送ロボット36は反転させた基板Wを受け取り、これを電解加工装置34に搬送し、基板保持部42により吸着保持させる。アーム40を移動させて基板Wを保持した基板保持部42を電極部46の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ50を駆動して基板保持部42を下降させ、この基板保持部42で保持した基板Wを電極部46のイオン交換体90の表面に接触又は近接させる。この状態で、自転用モータ58を駆動して基板Wを回転させ、同時に中空モータ60を駆動して電極部46をスクロール運動させる。このとき、純水噴射ノズル96の噴射口98から基板Wと電極部材82との間に純水又は超純水を噴射し、また、各電極部46の貫通孔100を通じて純水又は超純水をイオン交換体88に含ませる。本実施形態では、イオン交換体88に供給された純水又は超純水は各電極部材82の長手方向端部から排出される。

【0070】

そして、電源48により加工電極と給電電極との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体88、90により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板Wの表面の導電体膜（銅膜6）の電解加工を行

う。なお、本実施形態では、電解加工中に往復動用モータ56を駆動させてアーム40及び基板保持部42をY方向に移動させる。このように、本実施形態では、電極部46をスクロール運動させ、基板Wを電極部材82の長手方向と垂直な方向に移動させながら加工を行うが、例えば、電極部46を電極部材82の長手方向と垂直な方向に移動させながら、基板Wをスクロール運動させてもよい。また、スクロール運動に代えて、Y方向への直進往復運動を行うこととしてもよい。

【0071】

電解加工中には、加工電極と給電電極との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタ部38でモニタして、エンドポイント（加工終点）を検知する。すなわち、同じ電圧（電流）を印加した状態で電解加工を行うと、材料によって流れる電流（印加される電圧）に違いが生じる。例えば、図10（a）に示すように、表面に材料Bと材料Aとを順次成膜した基板Wの該表面に電解加工を施したときに流れる電流をモニタすると、材料Aを電解加工している間は一定の電流が流れるが、異なる材料Bの加工に移行する時点で流れる電流が変化する。同様に、加工電極と給電電極との間に印加される電圧にあっても、図10（b）に示すように、材料Aを電解加工している間は一定の電圧が印加されるが、異なる材料Bの加工に移行する時点で印加される電圧が変化する。なお、図10（a）は、材料Bを電解加工するときの方が、材料Aを電解加工するときよりも電流が流れにくくなる場合を、図10（b）は、材料Bを電解加工するときの方が、材料Aを電解加工するときよりも電圧が高くなる場合の例を示している。これにより、この電流又は電圧の変化をモニタすることでエンドポイントを確実に検知することができる。

【0072】

なお、モニタ部38で加工電極と給電電極との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタして加工終点を検知するようにした例を説明したが、このモニタ部38で、加工中の基板の状態の変化をモニタして、任意に設定した加工終点を検知するようにしてもよい。この場合、加工終点は、被加工面の指定した部位について、所望の加工量に達した時点、もしくは加工量と相関関係を有する

パラメータが所望の加工量に相当する量に達した時点を指す。このように、加工の途中においても、加工終点を任意に設定して検知できるようにすることで、多段プロセスでの電解加工が可能となる。

【0073】

電解加工完了後、電源48の接続を切り、基板保持部42と電極部46の回転を停止させ、しかる後、基板保持部42を上昇させ、アーム40を移動させて基板Wを搬送ロボット36に受け渡す。基板Wを受け取った搬送ロボット36は、必要に応じて反転機32に搬送して反転させた後、基板Wをロード・アンロード部30のカセットに戻す。

【0074】

ここで、超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体90を基板Wに接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。この「接触」は、例えばCMPのように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ことを意味するものではない。従って、本実施例における本電解加工装置では、基板Wの電極部46への接触又は近接には上下動用モータ50を用いており、例えばCMP装置において基板と研磨部材を積極的に押し付ける押圧機構は具備していない。すなわち、CMPにおいては、一般に20～50kPa程度の押圧力で基板を研磨面に押し付けているが、本実施形態の電解加工装置では、例えば、20kPa以下の圧力でイオン交換体56を基板Wに接触させればよく、10kPa以下の圧力でも十分除去加工効果が得られる。

【0075】

本実施形態において、基板Wと電極部材82のイオン交換体90とを接触させて加工を行う場合、電極部46のイオン交換体90と基板Wの被加工面との接触範囲内で加工が進行するので、イオン交換体90と基板Wの被加工面との接触幅を基板Wの押し付け量（すなわち、電極部46と基板Wとの間の距離）によって調整する必要がある。しかしながら、電極部材82は長尺状であるため、電極部46と基板Wとの間の距離を長手方向の全長に亘って高精度で調整することは難しい。また、加工中は、電極部46はスクロール運動を行い、基板WはY方向に

移動するため、これらの相対移動に伴って上記距離が変化することが考えられる。更に、各電極部材 82 のイオン交換体 90 の取り付け状態によって、各イオン交換体 90 の高さにバラツキが生じ、同様の問題が発生することが考えられる。

【0076】

例えば、図 11 (a) に示すように、電極部 46 の上面と基板 W との間の距離が $h_1 (= 17.7 \text{ mm})$ の場合には、イオン交換体 90 と基板 W の被加工面との接触幅が $w_1 (= 4.4 \text{ mm})$ となるが、図 11 (b) に示すように、 $h_2 (= 17.5 \text{ mm})$ となった場合には $w_2 (= 5.2 \text{ mm})$ となり、接触幅が大きく変化する。電解加工はイオン交換体 90 と基板 W の被加工面との接触範囲内で進行するので、このようにイオン交換体 90 の加工に用いられる部分の接触幅が変化すると均一な加工ができないおそれがある。

【0077】

このような観点から、電極部材 82 には、イオン交換体 90 の加工に用いられる部分と基板 W との接触幅を一定に制限する接触幅制限部を設けることが好ましい。図 12 (a) はこのような接触幅制限部を備えた、本発明の第 2 の実施形態における電極部材を示す断面図、図 12 (b) は図 12 (a) の部分拡大図である。本実施形態においては、接触幅制限部として絶縁フィルムを用いている。すなわち、図 12 (a) 及び図 12 (b) に示すように、イオン交換体 90 の頂部以外の表面には絶縁フィルム 102 が貼付されており、イオン交換体 90 の頂部の幅 w_3 (例えば 4 mm) の範囲のみイオン交換体 90 が露出するようになっている。この絶縁フィルム 102 は、電氣的な絶縁物であればよく、例えば厚さ 0.1 mm のビニルテープを用いることができる。

【0078】

このような電極部材 82 を用いて加工を行う場合には、少なくともイオン交換体 90 が露出している幅 w_3 の部分が基板に接触するように、基板の押し付け量を所定の押し付け量以上に設定する。これにより、図 13 (a) に示すように、電極部 46 の上面と基板 W との間の距離が $h_3 (= 17.7 \text{ mm})$ の場合には、電極部材 82 と基板 W の被加工面との接触幅は $w_4 (= 4.6 \text{ mm})$ となるが、イオン交換体 90 が実際に基板 W の被加工面と接触している幅は $w_5 (= 3.5$

mm) となる。また、図 13 (b) に示すように、電極部 46 の上面と基板 W との間の距離が $h_4 (= 17.5 \text{ mm})$ となった場合には、電極部材 82 と基板 W の被加工面との接触幅は $w_6 (= 5.2 \text{ mm})$ となるが、イオン交換体 90 が実際に基板 W の被加工面と接触している幅は図 13 (a) に示す場合と変わらず $w_5 (= 3.5 \text{ mm})$ である。従って、本実施形態では、イオン交換体 90 の表面に貼付された絶縁フィルム 102 によって、基板 W の押し付け量が増加しても、基板 W の被加工面とイオン交換体 90 との接触幅を一定に維持することができ、均一な加工を実現することができる。

【0079】

なお、本実施形態では、イオン交換体 90 の頂部以外の表面に絶縁フィルム 102 を貼付した例を説明したが、イオン交換体 90 の頂部以外の裏面に絶縁フィルムを貼付してもよく、この場合にもイオン交換の範囲を制限することができるので同様の効果を期待することができる。

【0080】

図 14 (a) は本発明の第 3 の実施形態における電極部材を示す断面図、図 14 (b) は図 14 (a) の部分拡大図である。本実施形態における電極部材 82 は、接触幅制限部としてイオン交換能力を有しない部材を用いている。すなわち、本実施形態においては、図 14 (a) 及び図 14 (b) に示すように、イオン交換体 90 の頂部以外の部分 90 a はイオン交換能力を有しておらず、イオン交換体 90 の頂部の幅 w_7 (例えば 4 mm) の部分 90 b のみがイオン交換能力を有している。これらの部分 90 a、90 b は、例えば、イオン交換能力を付与させない部分 90 a を鉛で遮蔽した状態で γ 線を照射し、グラフト重合を行うことで一体的に形成することができる。

【0081】

本実施形態においては、少なくともイオン交換能力のある部分 90 b の全面が基板に接触するように、基板の押し付け量を所定の押し付け量以上に設定する。これにより、図 15 (a) に示すように、電極部 46 の上面と基板 W との間の距離が $h_5 (= 17.7 \text{ mm})$ の場合には、イオン交換体 90 と基板 W の被加工面との接触幅は $w_8 (= 4.4 \text{ mm})$ となるが、加工が進行する部分（すなわちイ

オン交換能力を有する部分)の幅は $w_9 (=4\text{ mm})$ となる。また、図15 (b)に示すように、電極部46の上面と基板Wとの間の距離が $h_6 (=17.5\text{ mm})$ となった場合には、電極部材82と基板Wの被加工面との接触幅は $w_{10} (=5.2\text{ mm})$ となるが、加工が進行する部分(すなわちイオン交換能力を有する部分)の幅は図15 (a)に示す場合と変わらず $w_9 (=4\text{ mm})$ となる。従って、本実施形態では、イオン交換能力を有しない部材90aによって、基板Wの押し付け量に変化しても、加工が進行する部分の幅を一定に維持することができる。また、本実施形態では、上述した第2の実施形態のように絶縁フィルム102を貼付する手間を省くことができる。更に、上述した第2の実施形態では、表面に貼付した絶縁フィルム102の厚みが上記接触幅に多少の影響を与え、また、裏面に貼付した場合は表面への電界の回り込みにより表面での加工に多少のばらつきが生じることが考えられるが、本実施形態において、イオン交換能力を有する部分90bとイオン交換能力を有しない部分90aとを一体に形成すれば、このような影響をなくすることができる。

【0082】

図16 (a)は本発明の第4の実施形態における電極部材に用いるイオン交換体を示す部分斜視図、図16 (b)は図16 (a)に示すイオン交換体を取り付けた電極部材を示す部分斜視図である。本実施形態における電極部材82においては、接触幅制限部としてイオン交換体に凸部を設けている。すなわち、図16 (a)及び図16 (b)に示すように、イオン交換体90は、頂部に幅 w_{11} の凸部90cを有している。このような凸部90cは、凸部90cの形状に対応した型を用いてイオン交換体90を押し出し加工することにより作製することができる。

【0083】

本実施形態においては、少なくともイオン交換体90の凸部90cの全面が基板に接触するように、基板の押し付け量を所定の押し付け量以上に設定する。これにより、図17 (a)乃至図17 (c)に示すように、電極部46の上面と基板Wとの間の距離が d だけ変化しても、イオン交換体90は基板Wと凸部90cの全面においてのみ接触し、接触幅は一定となる。従って、本実施形態では、イ

オン交換体 90 に設けられた凸部 90c によって、基板 W の押し付け量が変わっても、基板 W の被加工面とイオン交換体 90 との接触幅を一定に維持することができ、均一な加工を実現することができる。

【0084】

また、この場合において、図 18 に示すように、凸部 90c の内部に例えば電気化学的に不活性な部材 104、例えばフッ素樹脂等を挿入してもよい。このような部材 104 をイオン交換体 90 の凸部 90c の内部に挿入することで、イオン交換体 90 の機械的強度を向上させることができる。また、図 19 (a) に示すように、凸部 90c を電極部材 82 の長手方向の一部にのみ設けてもよい。この場合において、図 19 (b) に示すように、凸部 90c の電極部材 82 の長手方向幅を短くしてもよい。このように凸部 90c の長手方向幅を短くすれば、図 19 (a) に示した電極部材 82 と比べて純水又は超純水が被加工面に供給されやすくなり、純水又は超純水が不足することによる加工異常を防止することができる。

【0085】

図 20 は、本発明の第 5 の実施形態の電解加工装置の電極部の断面図を、図 21 は図 20 の部分拡大図を示す。この実施形態の電極部 46a は、前述の例と同様に、矩形状に形成され、直線状に延びる複数の電極 200 を備えており、これらの電極 200 は平板状のベース 84a 上に並列に配置されている。本実施形態では、電極の上面にイオン交換体を有しない。これら各電極 200 は、電源の陰極と陽極に交互に接続され、この例では、電源の陰極に接続される電極 200 が加工電極 202a となり、陽極に接続される電極 200 が給電電極 202b となるようになっている。

【0086】

図 20 に示すように、電極部 46a のベース 84a の内部には、被加工面に純水、より好ましくは超純水や電解液を供給するための流路 204 が形成されており、この流路 204 は流体供給管 206 を介して流体供給源（図示せず）に接続されている。各電極 200 の両側には、流路 204 から供給される純水や電解液等を基板 W と電極 200 との間に供給するための流体供給ノズル 208 が設置さ

れている。この流体供給ノズル 208 には、基板 W と電極 200 との対向部分乃至接触部分に向けて純水や電解液等を噴射する供給口 210 が長さ方向に沿って複数箇所に設けられている。この流体供給ノズル 208 の供給口 210 から流路 204 内の純水や電解液等が基板 W の被加工面全域に供給される。

【0087】

また、各電極 200 の内部には、流路 204 に連通して上下方向に貫通する貫通孔 212 が形成されている。このような構成により、流路 204 内の純水や電解液等は、貫通孔 212 を通って電極 200 と基板 W との間に供給される。なお、電極 200 と流体供給ノズル 208 との間には、保持プレート 214 が介装されている。

【0088】

本願の発明（請求項 13）は、第 5 の実施形態に示すように、電極表面にイオン交換体が載置されている形態に限られない。すなわち、複数の電極が並列に交互に配置され、被加工物に対向する面から給電電極と加工電極が近接することができ、基板の上の導電性膜への給電が容易である。また、それぞれで同じ形状の給電電極と加工電極が等間隔に配置されているため、基板に対する給電電極と加工電極の比率がほぼ等しくなるので、給電部分が基板の数箇所に集中することなく、基板全面に均一に給電することができるという利点を有する。

【0089】

図 20、図 21 では、イオン交換体を載置しない場合を示したが、電極と被加工物の間に、イオン交換体以外の部材を介在させてもよい。その場合、スポンジなど通液性の部材を用いることにより、電極と被加工物の間の液体を介してイオンを移動させる。

【0090】

なお、電極と被加工物との間に部材を介さない場合は、被加工物と各電極との間の抵抗が、隣り合う正負の電極間の抵抗よりも小さくなるように被加工物と各電極間の距離及び隣り合う電極間距離を設定することにより、イオンの移動を隣り合う電極間よりも電極と被加工物との間で行わせるようにすることにより、電流が給電電極→被加工物→加工電極に優先的に流れるようになる。

【0 0 9 1】

この実施形態の電解加工装置によって、基板Wの表面に成膜乃至付着した不要なルテニウム膜をエッチング除去する時には、加工電極 2 0 2 a 及び給電電極 2 0 2 b と基板Wの被加工部であるルテニウム膜との間に、例えば、ハロゲン化物を含んだ電解液を供給する。そして、電源の陽極を給電電極 2 0 2 b に、陰極を加工電極 2 0 2 a にそれぞれ接続し、これによって、基板Wの表面のルテニウム膜を陽極となし、加工電極 2 0 2 a を陰極となして、基板Wと加工電極 2 0 2 a 及び給電電極 2 0 2 b との間に電解液を供給して加工電極 2 0 2 a に対面している部位をエッチング除去する。

【0 0 9 2】

ハロゲン化物を溶解させる溶媒としては、例えば、水またはアルコール類、アセトニトリル、ジメチルホルムアミド、ジメチルスルホキシド等の有機溶媒が使用できる。加工するルテニウム膜の用途、加工後に必要となる洗浄、表面状態等により適宜選択すればよい。半導体製造に使われる基板に対しては、不純物の汚染を極力避けるために、純水を使用することが好ましく、超純水を使用することが更に好ましい。

【0 0 9 3】

また、ハロゲン化物は、その溶液を電解液としたときに電気化学的相互作用によりルテニウム膜のエッチング加工が進行し、かつ、電解中に生成した化合物がルテニウムと反応し、反応物が電解液中に溶解するか、または揮発して除去されるものであればいずれでもよい。例えば、 HCl 、 HBr 、 HI の水溶液のようなハロゲン化水素酸、 HClO_3 、 HBrO_3 、 HIO_3 、 HClO 、 HBrO 、 HIO のようなハロゲンオキシ酸の水溶液、 NaClO_3 、 KClO_3 、 NaClO 、 KClO のようなハロゲンオキシ酸塩の水溶液、 NaCl 、 KCl のような中性塩の水溶液を電解液として使用することができる。加工後のルテニウムの使用用途と残留物質の影響、ルテニウムの膜厚、ルテニウムの下地膜の特性等により適宜選択して使用すればよい。

【0 0 9 4】

この電解加工装置においては、前述の例と同様に、基板ホルダを介して基板W

を加工電極 2 0 2 a 及び給電電極 2 0 2 b に近接乃至接触させて回転させつつ、電極部 4 6 a をスクロール運動させるのであり、これにより、電気化学反応によりルテニウム膜がエッチング除去されるとともに、電解により生成したハロゲン化合物とルテニウムが化学反応し、ルテニウム膜のエッチング除去が進行する。加工後の表面は、超純水供給ノズル（図示せず）より供給される超純水により洗浄される。

【0 0 9 5】

ハロゲン化合物の濃度は、 $1\text{ mg/l} \sim 10\text{ g/l}$ 、好ましくは $100\text{ mg/l} \sim 1\text{ g/l}$ 程度である。ハロゲン化合物の種類、加工時間、加工面積、陽極としたルテニウム膜と陰極とした加工電極との距離、電解電圧等は、電解加工後の基板の表面状態や廃液処理の能力等により適宜決めればよい。例えば、希薄濃度の電解液を使用して電解電圧を高くすることで、薬液使用量を削減することができ、電解液の濃度を高くすることで、加工速度を速くすることができる。

【0 0 9 6】

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

【0 0 9 7】

【発明の効果】

上述したように、本発明によれば、基板等の被加工物に物理的な欠陥を与えて被加工物の特性を損なうことを防止しつつ、電気化学的作用によって、例えばCMPに代わる電解加工等を施すことができ、これによって、CMP処理そのものを省略したり、CMP処理の負荷を低減したり、更には基板等の被加工物の表面に付着した付着物を除去（洗浄）することができる。しかも、純水又は超純水のみを使用しても基板を加工することができ、これによって、基板の表面に電解質等の余分な不純物の付着したり、残留したりすることをなくして、除去加工後の洗浄工程を簡略化できるばかりでなく、廃液処理の負荷を極めて小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

【図 2】

加工電極及び給電電極を基板（被加工物）に近接させ、加工電極及び給電電極と基板（被加工物）との間に純水又は電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体を供給するようにしたときの本発明による電解加工の原理の説明に付する図である。

【図 3】

本発明の第 1 の実施形態における基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図 4】

図 3 に示す基板処理装置の電解加工装置を示す平面図である。

【図 5】

図 4 の縦断面図である。

【図 6】

図 6（a）は図 4 の電解加工装置における自転防止機構を示す平面図、図 6（b）は図 6（a）の A-A 線断面図である。

【図 7】

図 4 の電解加工装置における電極部を示す平面図である。

【図 8】

図 7 の B-B 線断面図である。

【図 9】

図 8 の部分拡大図である。

【図 10】

図 10（a）は、異なる材料を成膜した基板の表面に電解加工を施したときに流れる電流と時間の関係を、図 10（b）は、同じく印加される電圧と時間の関係をそれぞれ示すグラフである。

【図 11】

図 11（a）及び図 11（b）は、本発明の第 1 の実施形態において、基板の押し付け量がそれぞれ異なる場合の電極部の状態を示す図である。

【図 12】

図 12 (a) は本発明の第 2 の実施形態における接触幅制限部を備えた電極部材を示す断面図、図 12 (b) は図 12 (a) の部分拡大図である。

【図 13】

図 13 (a) 及び図 13 (b) は、本発明の第 2 の実施形態において、基板の押し付け量がそれぞれ異なる場合の電極部の状態を示す図である。

【図 14】

図 14 (a) は本発明の第 3 の実施形態における接触幅制限部を備えた電極部材を示す断面図、図 14 (b) は図 14 (a) の部分拡大図である。

【図 15】

図 15 (a) 及び図 15 (b) は、本発明の第 3 の実施形態において、基板の押し付け量がそれぞれ異なる場合の電極部の状態を示す図である。

【図 16】

図 16 (a) は本発明の第 4 の実施形態における電極部材に用いるイオン交換体を示す部分斜視図、図 16 (b) は図 16 (a) に示すイオン交換体を取り付けた電極部材を示す部分斜視図である。

【図 17】

図 17 (a) 乃至図 17 (c) は、本発明の第 4 の実施形態において、基板の押し付け量がそれぞれ異なる場合の電極部の状態を示す図である。

【図 18】

第 4 の実施形態におけるイオン交換体の変形例を示す縦断面図である。

【図 19】

図 19 (a) 及び図 19 (b) は、第 4 の実施形態における電極部材の変形例を示す部分斜視図である。

【図 20】

本発明の第 5 の実施形態における電解加工装置の電極部の断面図（図 8 相当図）である。

【図 21】

図 20 の部分拡大図である。

【符号の説明】

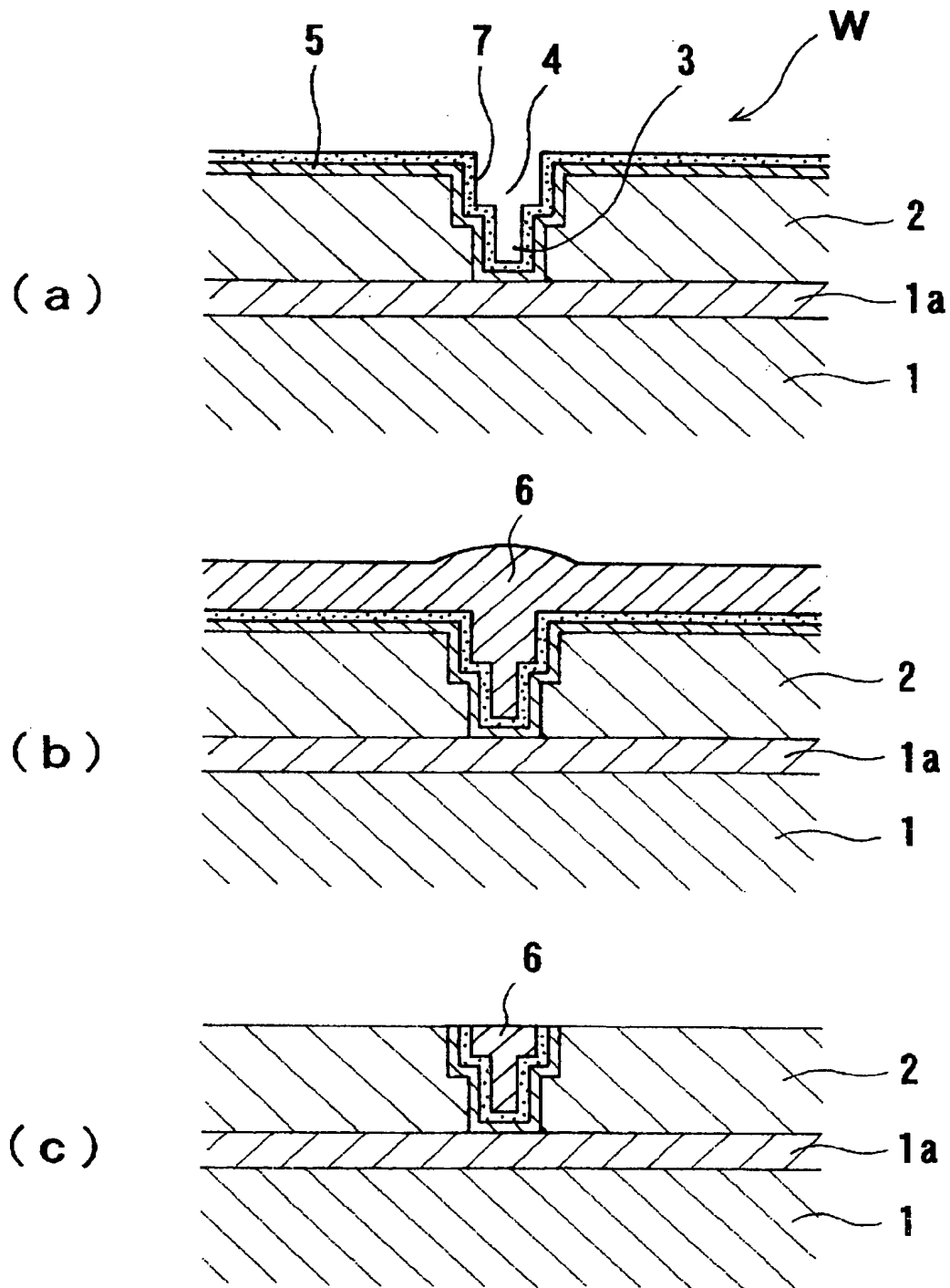
- 6 銅膜（導電体膜）
- 7 シード層
- 1 0 被加工物
- 1 2 a, 1 2 b イオン交換体
- 1 4 加工電極
- 1 6 給電電極
- 1 8 超純水
- 2 0 水分子
- 2 2 水酸化物イオン
- 2 4 水素イオン
- 2 6 反応物質
- 3 0 ロード・アンロード部
- 3 2 反転機
- 3 4 電解加工装置
- 3 6 搬送ロボット
- 3 8 モニタ部
- 4 0 アーム
- 4 2 基板保持部
- 4 4 可動フレーム
- 4 6, 4 6 a 電極部
- 4 8 電源
- 5 0 上下動用モータ
- 5 2 ボールねじ
- 5 4 ボールねじ
- 5 6 往復動用モータ
- 5 8 自転用モータ
- 6 0 中空モータ
- 6 2 主軸

6 4 駆動端
6 6 自転防止機構
6 8, 7 0 凹所
7 2, 7 4 軸受
7 6, 7 8 軸体
8 0 連結部材
8 2 電極部材
8 4 ベース
8 5 保持プレート
8 6 電極
8 8, 9 0 イオン交換体
9 2 流路
9 4 純水供給管
9 6 純水供給ノズル
9 8 噴射口
1 0 0 貫通孔
1 0 2 絶縁フィルム
2 0 0 電極
2 0 2 a 加工電極
2 0 2 b 給電電極
2 0 8 流体供給ノズル
2 1 0 供給口
2 1 2 貫通孔

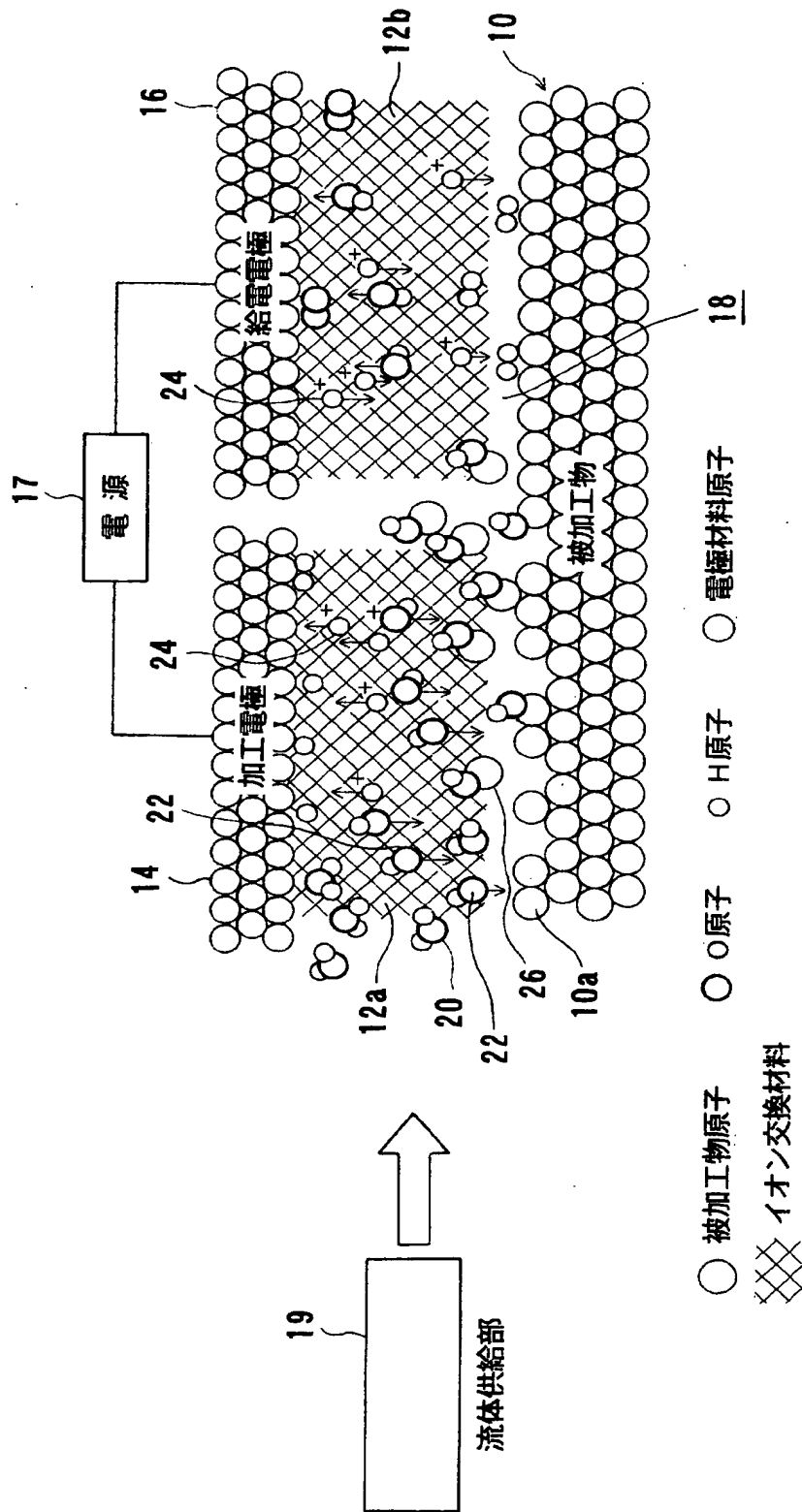
【書類名】

図面

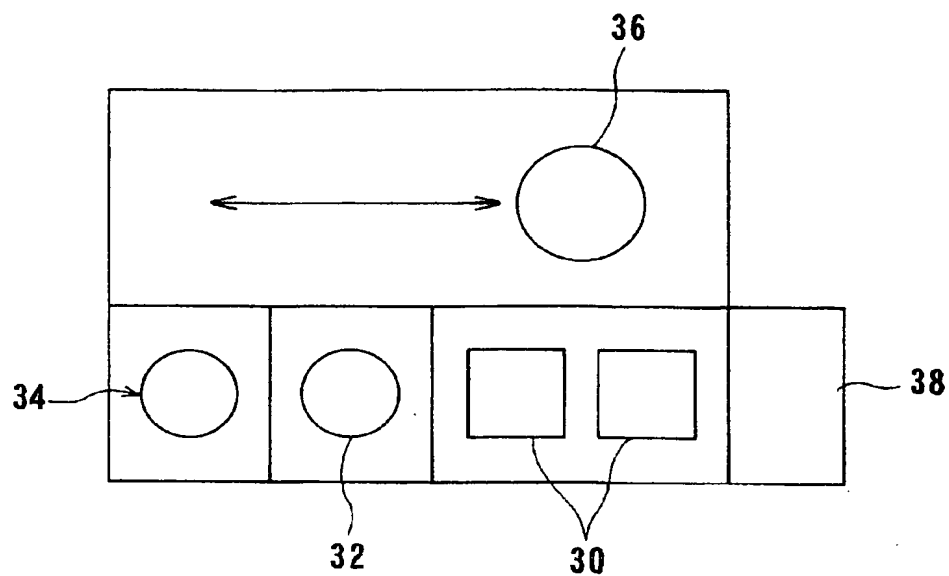
【図 1】



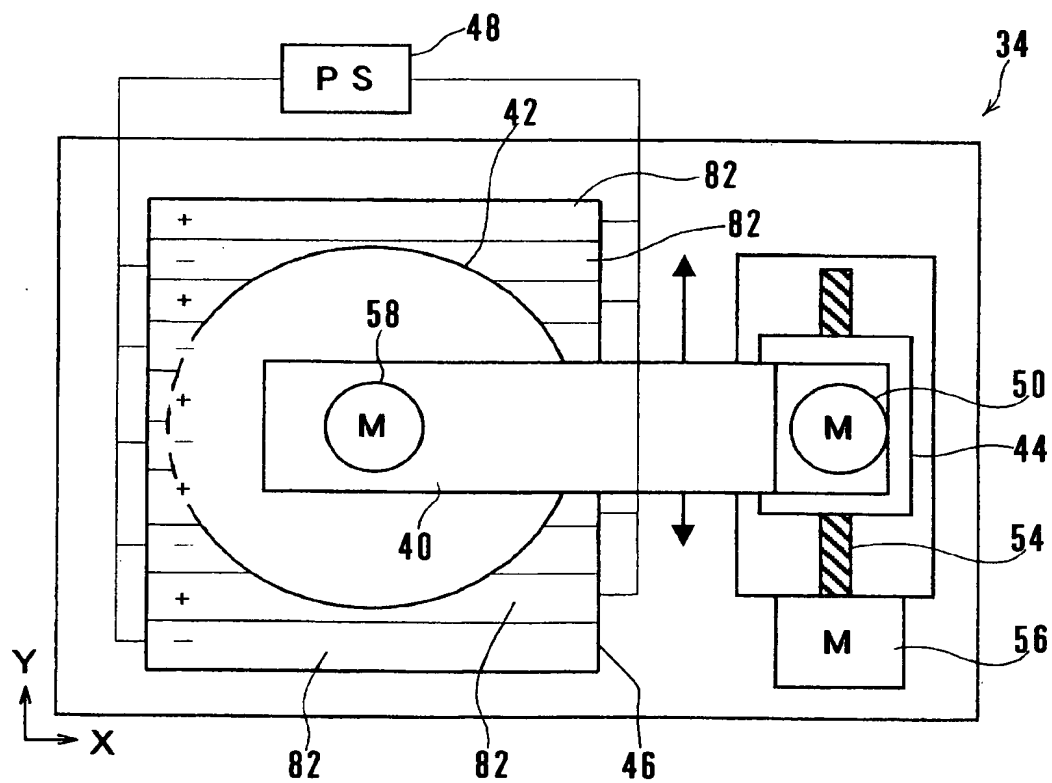
【図 2】



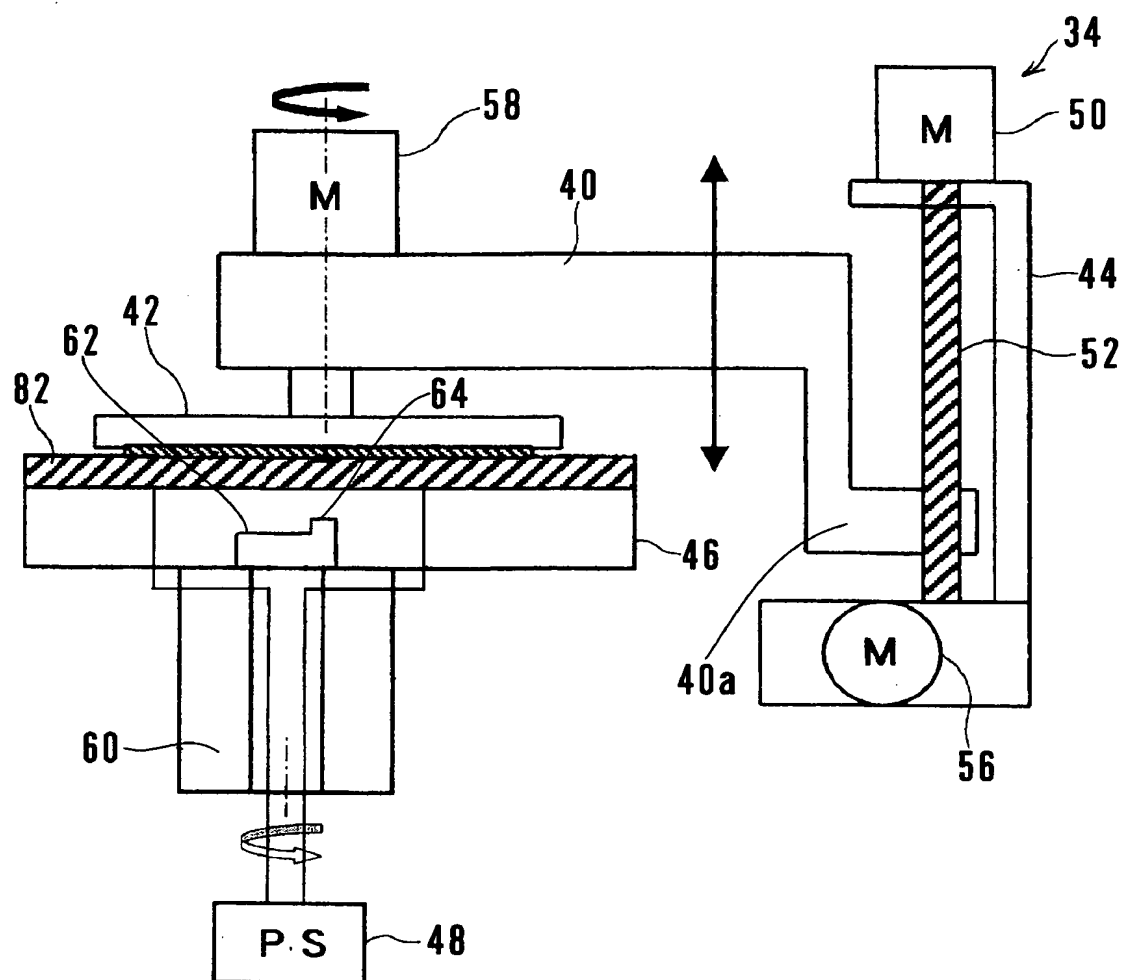
【図 3】



【図 4】

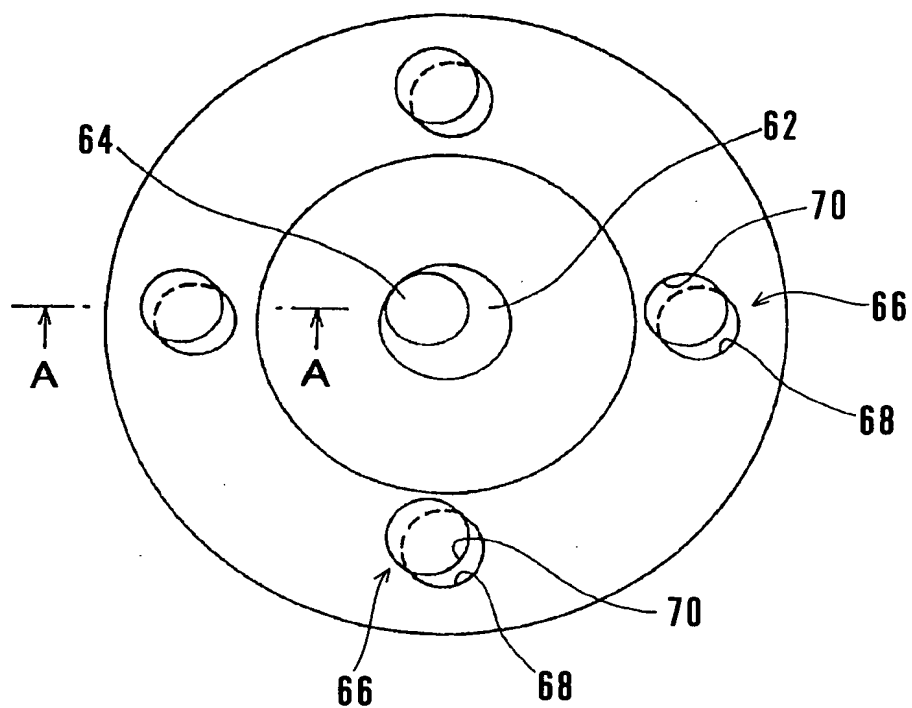


【図 5】

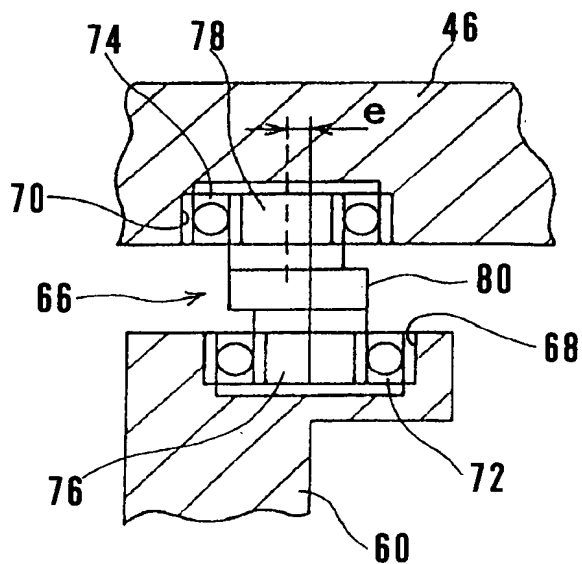


【図 6】

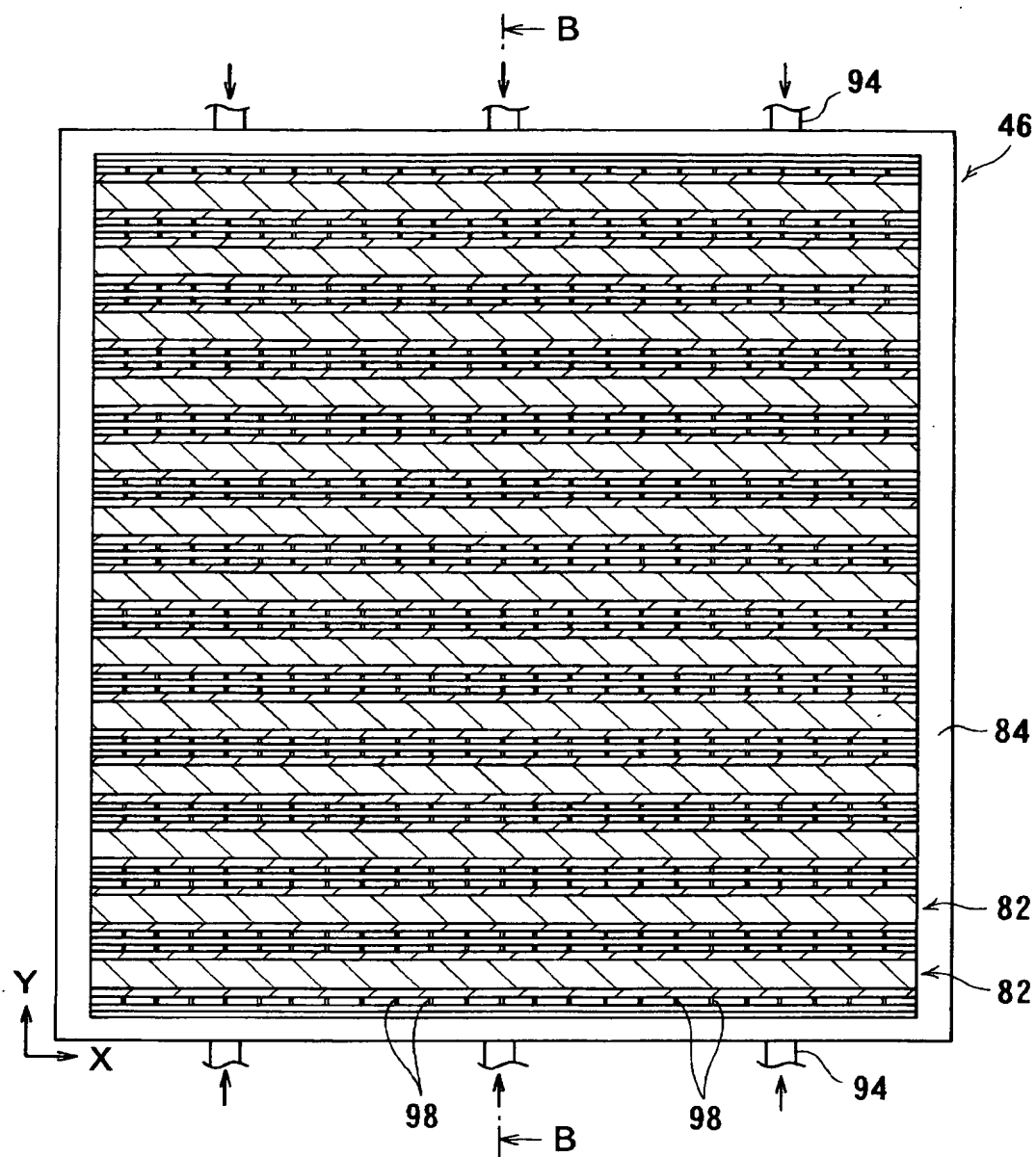
(a)



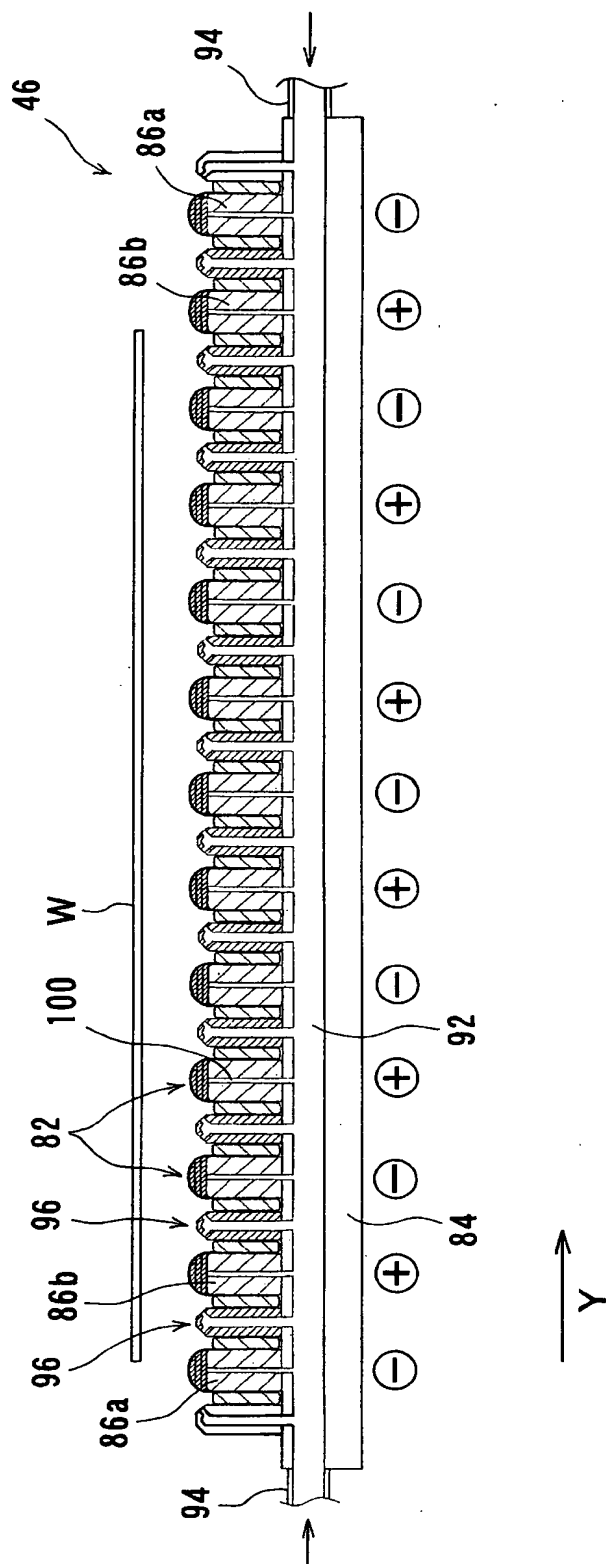
(b)



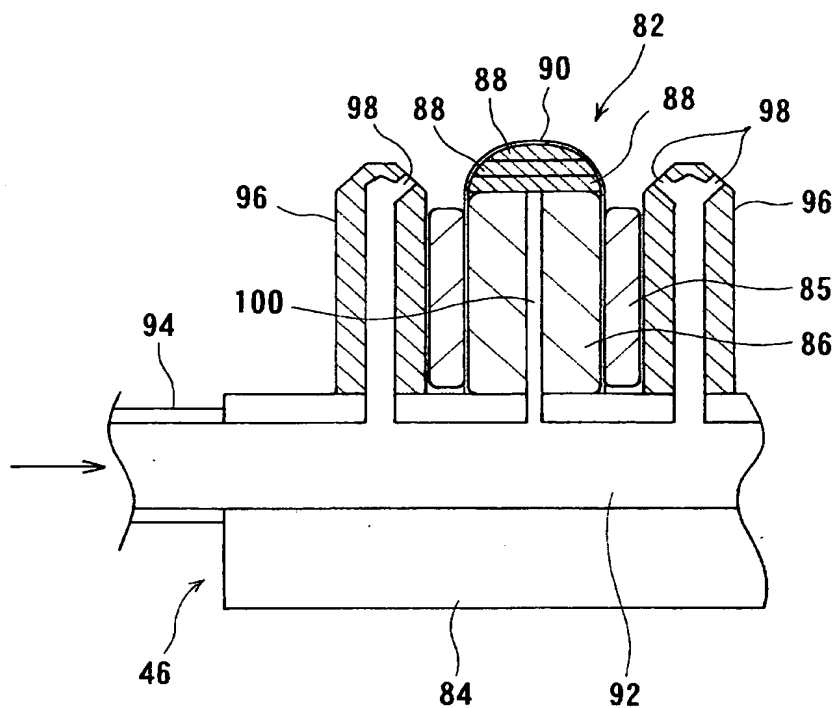
【図 7】



【図 8】

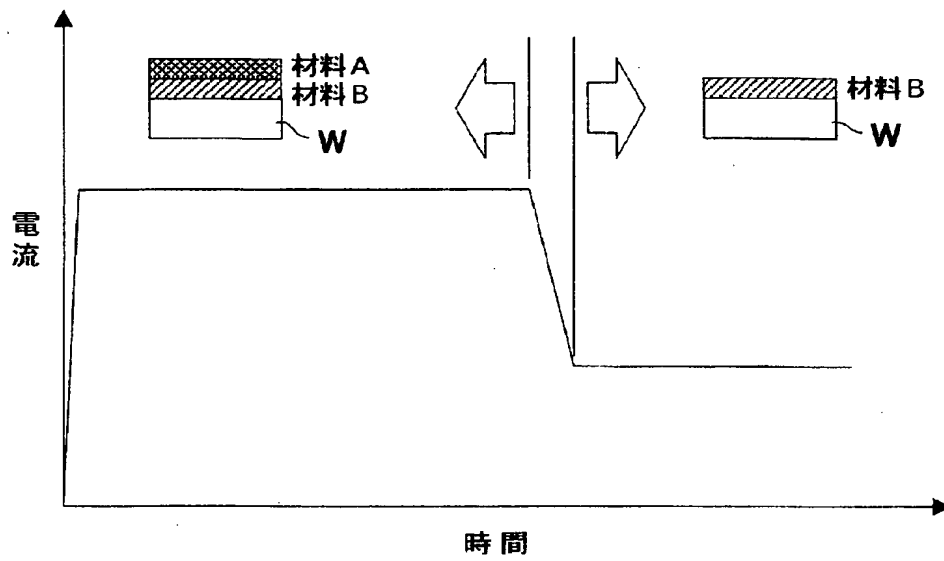


【図 9】

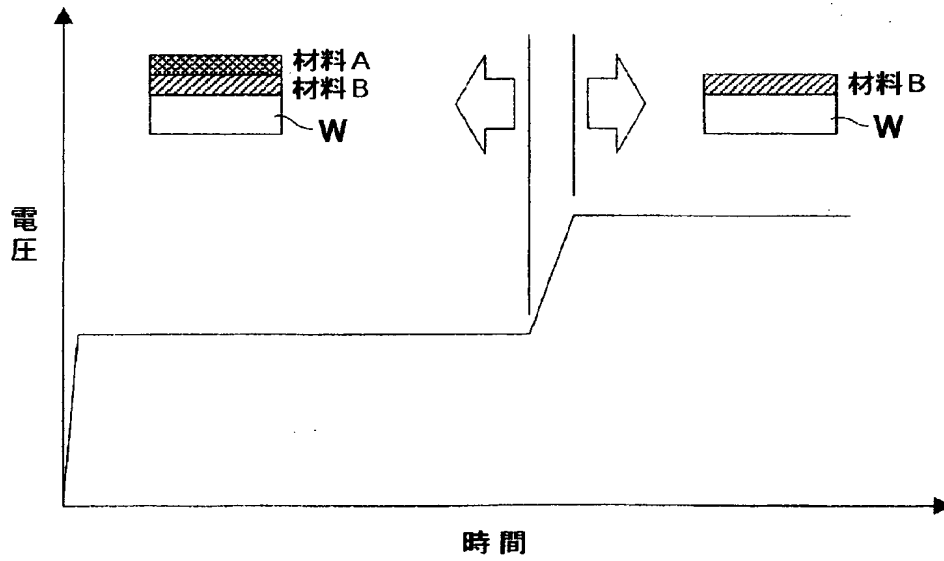


【図 10】

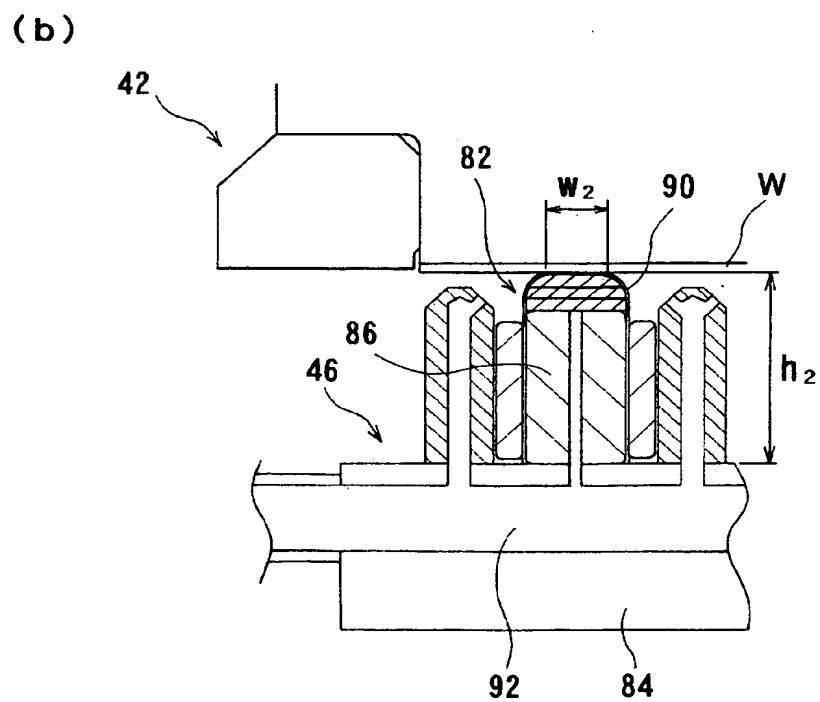
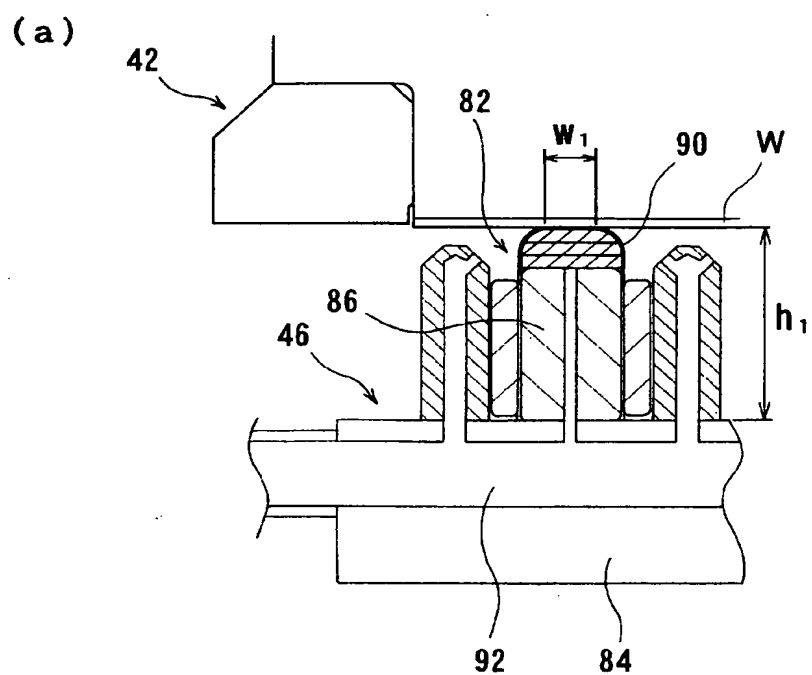
(a)



(b)

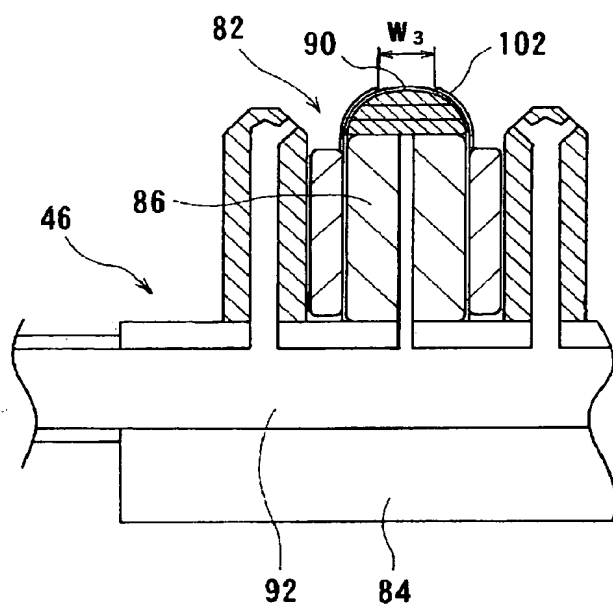


【図 11】

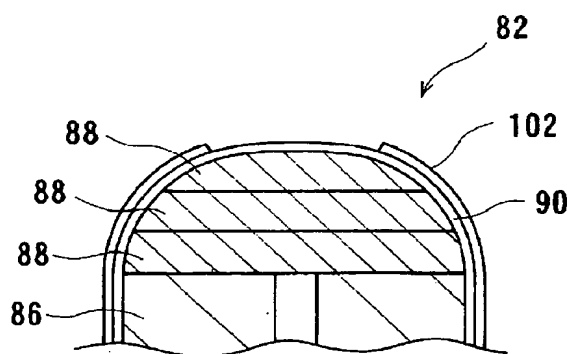


【図 12】

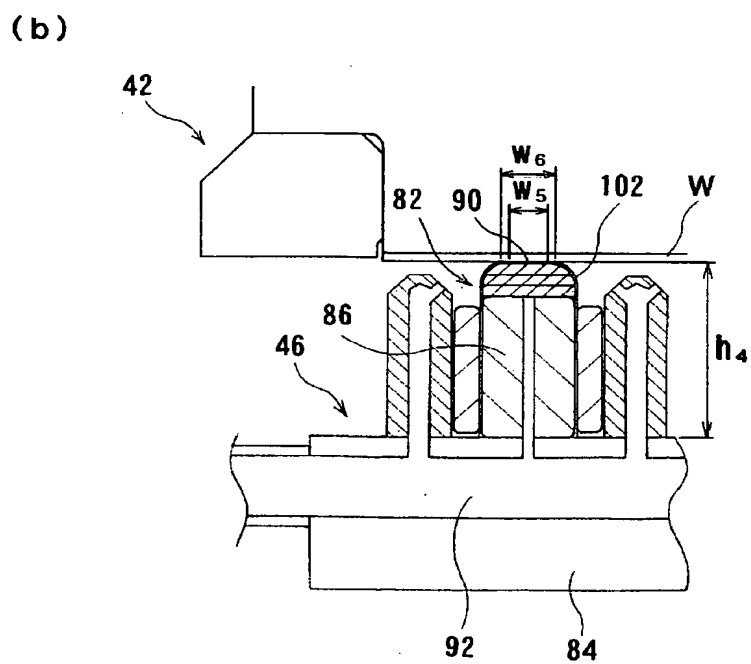
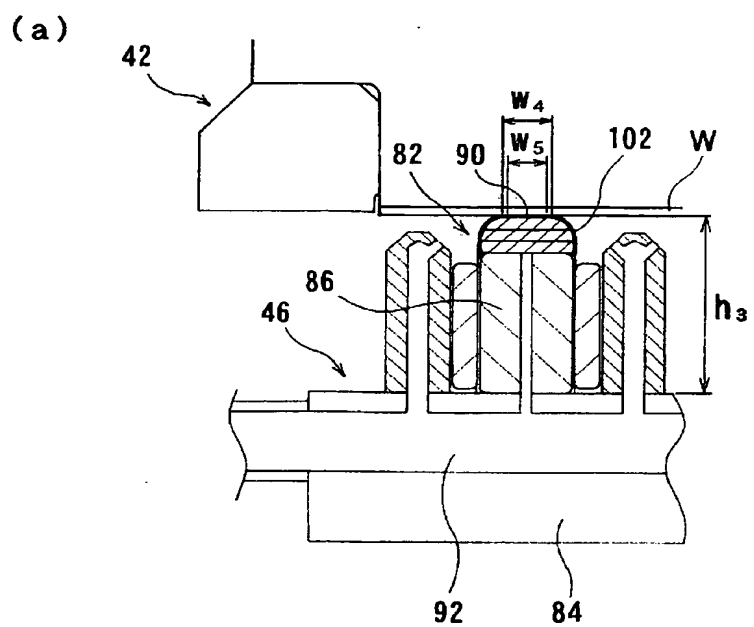
(a)



(b)

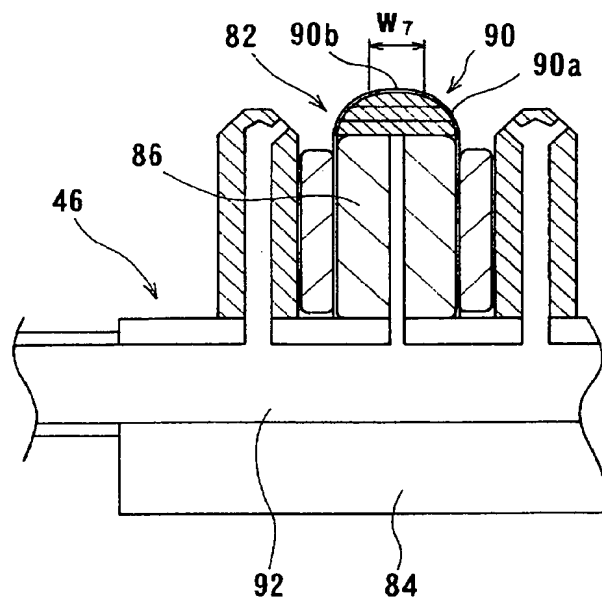


【図 13】

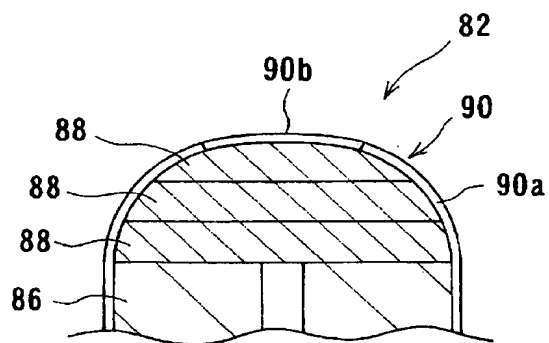


【図 14】

(a)

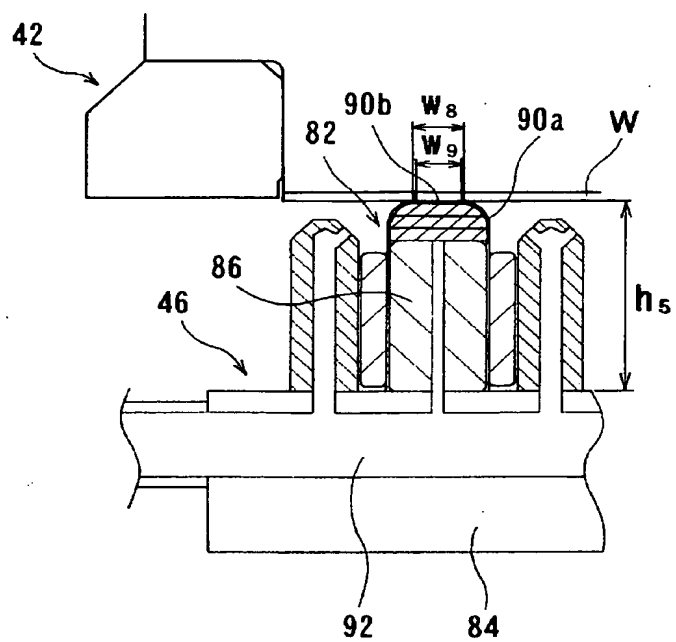


(b)

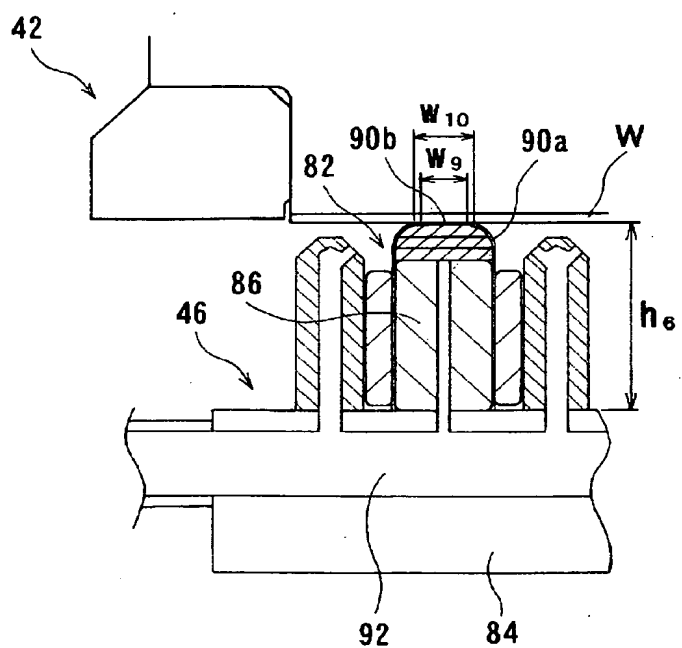


【図 15】

(a)

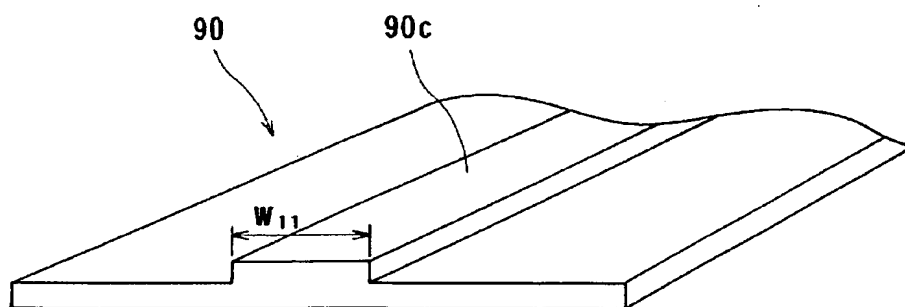


(b)

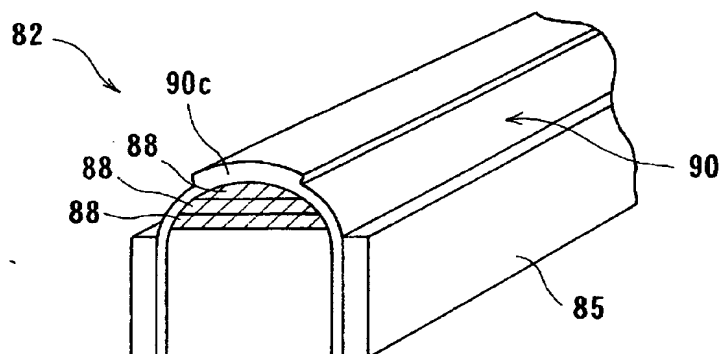


【図 16】

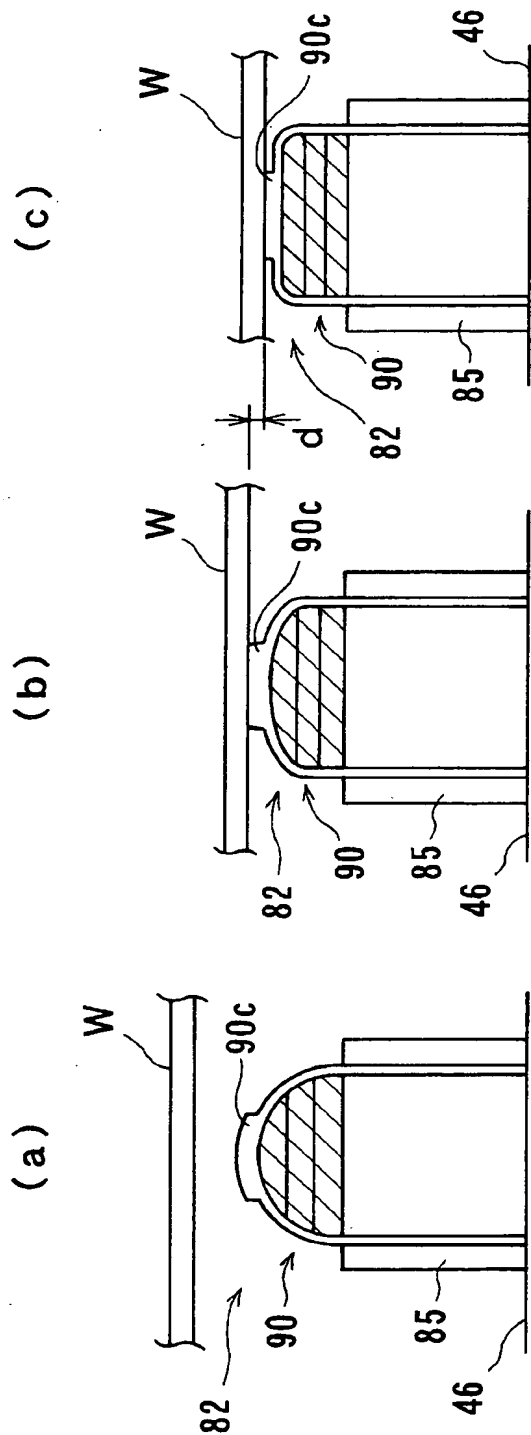
(a)



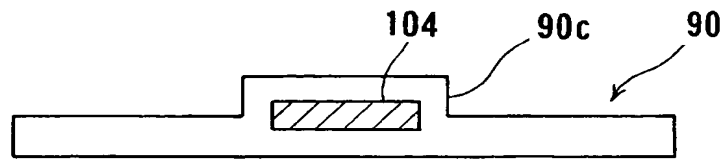
(b)



【図 17】

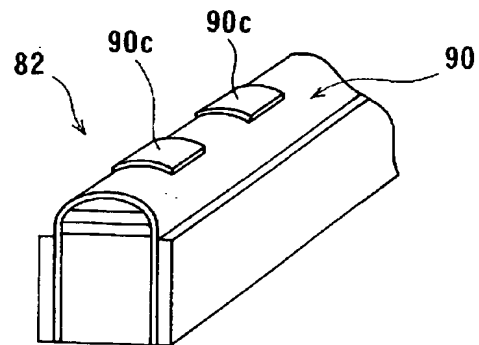


【図 18】

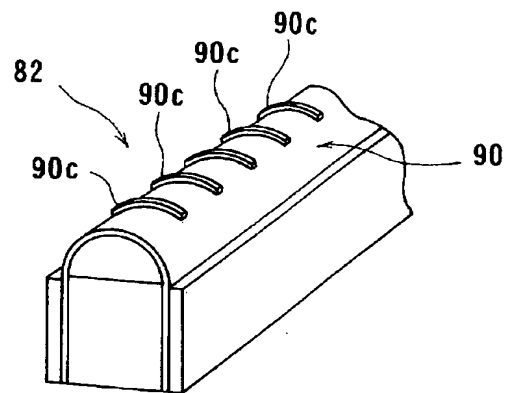


【図 19】

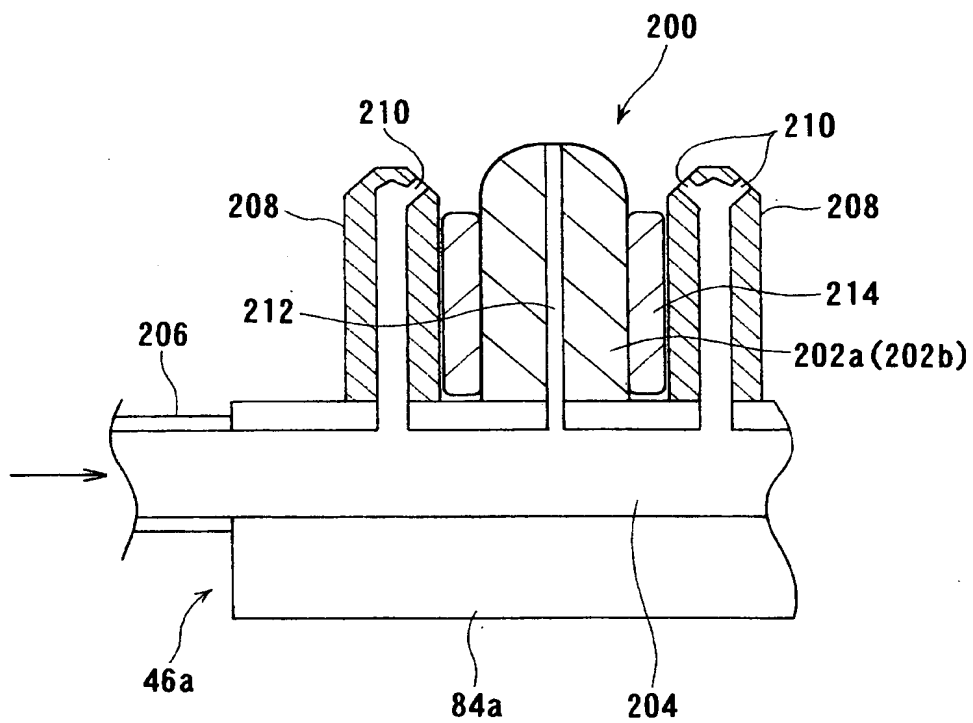
(a)



(b)



【図 21】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 例えばCMP処理そのものを省略したり、CMP処理の負荷を極力低減しつつ、基板表面に設けられた導電性材料を平坦に加工したり、更には基板等の被加工物の表面に付着した付着物を除去（洗浄）できるようにした電解加工装置を提供する。

【解決手段】 電極86と電極86の表面を覆うイオン交換体とを有する複数の電極部材82を並列に配置した電極部46と、電極部材82のイオン交換体に被加工物Wを接触又は近接自在に保持する保持部42と、電極部46の各電極部材82の電極86に接続される電源48とを備え、電極部材82のイオン交換体は、表面平滑性に優れたイオン交換体90と、イオン交換容量の大きいイオン交換体88とを有する。

【選択図】 図9

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 3 8 2 1 2 9
受付番号	5 0 2 0 1 9 9 2 2 1 3
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0 0 9 2
作成日	平成 1 5 年 1 月 8 日

< 認定情報・付加情報 >

【特許出願人】

【識別番号】	000000239
【住所又は居所】	東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
【氏名又は名称】	株式会社荏原製作所

【代理人】

申請人

【識別番号】	100091498
【住所又は居所】	東京都新宿区西新宿 7 - 5 - 8 G O W A 西新宿 4 階 渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】	渡邊 勇

【選任した代理人】

【識別番号】	100092406
【住所又は居所】	東京都新宿区西新宿 7 - 5 - 8 G O W A 西新宿 4 階 渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】	堀田 信太郎

【選任した代理人】

【識別番号】	100093942
【住所又は居所】	東京都新宿区西新宿 7 - 5 - 8 G O W A 西新宿 4 階 渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】	小杉 良二

【選任した代理人】

【識別番号】	100109896
【住所又は居所】	東京都新宿区西新宿 7 - 5 - 8 G O W A 西新宿 4 階 渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】	森 友宏

次頁無

特願 2 0 0 2 - 3 8 2 1 2 9

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 2 3 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

氏 名

株式会社荏原製作所